

GREEN-FUZZY - IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE ALOCAÇÃO DE USUÁRIOS EM REDES MACRO-FEMTO CO-CANAL: UMA ABORDAGEM BASEADA EM SIMULAÇÃO

**Luciana Almeida, Flávia Monteiro, Marlon da Silva, Carlos Natalino, Ádamo Santana,
Carlos Francês e Diego Cardoso**

Universidade Federal do Pará

Laboratório de Planejamento de Redes de Alto Desempenho – Universidade Federal do Pará
(UFPA) – Caixa Postal 479 – Belém – PA – Brasil

{lu.abdon.si,flaviamonteiro.comp}@gmail.com

marlondasilv@yahoo.com.br

{cns,adamo, rfrances,diego}@ufpa.br

RESUMO

O conceito de femtocélula visa combinar o acesso à banda larga fixa e telefonia móvel por meio da implantação de estações base na residência dos assinantes. Femtocélulas são autoconfiguráveis, no entanto, podem limitar a qualidade de serviço (QoS) e reduzir a eficiência da rede, uma vez que usa padrões de atribuição limitados, tais como o nível de potência do sinal. Para este fim, o trabalho apresenta uma proposta de alocação otimizada de usuários em uma rede macro-femto co-canal, visando maximizar o QoS das aplicações e eficiência energética, buscando o conceito de redes verdes. Dessa forma, é utilizado o sistema de inferência *fuzzy*, sendo formulado para definir a qual rede o telefone móvel deve se conectar. O modelo criado é flexível, permitindo diferentes análises e adaptável às características específicas das companhias telefônicas. Os resultados mostram que, em comparação com as abordagens tradicionais de QoS, o modelo aqui proposto pode melhorar a eficiência energética em até 25%.

PALAVRAS CHAVE. Femtocélulas, Redes Verdes, Qualidade de Serviço.

SIM - Simulação

TEL&SI - PO em Telecomunicações e Sistemas de Informações

ABSTRACT

The femtocell concept aims to combine fixed-line broadband access with mobile telephony using the base stations in the subscribers' homes. Femtocells are self-configurable, however it can limit the quality of service (QoS) for the users and reduce the efficiency of the network, based on outdated allocation parameters such as signal power level. To this end, this paper presents a proposal for optimized allocation of users on a co-channel macro-femto network, that enable self-configuration and public access, aiming to maximize the QoS of applications and using more efficiently the available energy, seeking the concept of Green networking. To this end, the paper presents a proposal for optimized allocation of users in a network macro-femto co-channel in order to maximize the QoS of the applications and energy efficiency, seeking the concept of green networks. Thus, a *fuzzy* inference system is formulated to define which network the mobile phone must connect. The model is flexible, allowing different analysis and adaptive characteristics specific to the telephone companies. The results show that, compared to traditional QoS approaches, the model proposed here can improve efficiency by up to 25%.

KEYWORDS. Femtocells. Green Networks. Quality of Service.

SIM – Simulation

TEL & SI - PO in Telecommunications and Information Systems

1. Introdução

Atualmente a sociedade presencia o desenvolvimento explosivo das tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), destacando-se os sistemas de telefonia celular, os quais estão crescendo vertiginosamente. De acordo com dados da Anatel (Agência Reguladora de Telecomunicações), em março de 2013 o Brasil possuía 264,05 milhões de linhas ativas na telefonia móvel e teledensidade de 133,67 celulares a cada 100 habitantes.

Aliado a essa evolução, outro tema tem sido abordado em computação e telecomunicações que é o conceito de *Green networks* (Redes Verdes), que se concentra no esforço para economia de energia e redução de CO². Dessa forma a preocupação com eficiência energética tem ganhado espaço nos últimos anos, especialmente por conta do rápido crescimento do consumo de energia por aplicações de usuários e dispositivos de rede, compreendendo 57% do consumo de energia das indústrias de TIC McLaughlin (2008).

Adicionalmente, dentre as várias indústrias consumidoras de energia, a TIC é responsável por cerca de 2% do total de emissões globais de CO² e 3% da despesa global de energia de acordo com Kelly (2007) e Karl (2003).

Com isso, a economia de energia em sistemas de comunicações móveis está intimamente relacionada à redução do consumo de energia de transmissão de BSs (Estações Base) e MSs (Estações Móveis) Kim e Cho (2009). Neste contexto a tecnologia femtocélula pode ser apontada como uma solução mitigadora, atuando em direção à eficiência energética.

Femtocélulas, também conhecidas como *home base stations*, são pontos de acesso de curto alcance (algumas dezenas de metros) e de baixo custo. São dispositivos usados para melhorar a cobertura de rede móvel em áreas pequenas, utilizado para conexão de telefones celulares e outros dispositivos semelhantes através de suas conexões usuais 2G (GSM), 3G (UMTS) ou 4G (WiMAX ou LTE); roteando as conexões para redes de banda larga, diminuindo assim a carga destinada às torres de telefonia (ERBs ou nodeBs).

No entanto, em implantações de femtocélulas co-canais, as femtocélulas e as macrocélulas compartilham o mesmo espectro de frequência, criando interferência entre elas. Este e outros problemas únicos em redes macro-femto exigem algoritmos de escalonamento inteligentes que possam apresentar um bom compromisso entre a maximização da equidade e da eficiência do sistema Bannister (2004).

O problema torna-se mais complexo quando o consumo de bateria de nós clientes e os requisitos de QoS (Qualidade de Serviços ou *Quality of Service*) são considerados na tomada de decisão de qual célula o cliente deve se conectar. Tradicionalmente, a decisão é tomada com base na potência do sinal (conecta-se a célula com maior potência de sinal, independente de ser macro ou femto), sem considerar se a saída satisfaz os requisitos mínimos de QoS, Holma e Toskala (2004).

Recentemente a indústria e a academia tem direcionado uma atenção substancial ao estudo das redes móveis verdes. Por exemplo, em Souza (2013) é tratado o uso racional de recursos, principalmente de energia, propondo-se a utilização de medidas de eficiência energéticas já existentes, aperfeiçoando-as e/ou adaptando-as para outras áreas, como por exemplo, a maximização da quantidade de bits transmitidos para cada unidade de energia consumida pela rede, considerando os requisitos dos padrões de redes sem fio macro-celulares, utilizando como cenário de aplicação redes de comunicações de múltiplo acesso por divisão de código (CDMA). Já em Chang *et al.* (2011), são apresentadas estratégias para maximizar a quantidade de dados transmitidos por um módulo 3G em uma determinada quantidade de bateria.

Em Chiaraviglio *et al.* (2008) é abordado um planejamento dinâmico o qual consiste em reduzir o número de dispositivos ativos quando o tráfego é baixo (fora do horário de pico), podendo alcançar economia de energia significativa. Han *et al.* (2010) mostra a avaliação de vários algoritmos de escalonamento de gerenciamento de rádio para redes LTE (*Long Term Evolution*), BS, explorando a diversidade multiusuário no tempo, frequência e domínios de espaço. No entanto, a literatura da área está voltada principalmente para a eficiência energética das células macrocélulas e femtocélulas, sem muita atenção dedicada a maximizar o uso de bateria de nós clientes, considerando os aspectos de QoS e nível de sinal.

Nesse sentido, este trabalho busca implementar um modelo baseado em Inteligência Computacional, utilizando a técnica dos conjuntos nebulosos, para o auxílio a tomada de decisão, validando o modelo elaborado através do simulador de redes NS3 (*Network Simulator 3*) Çetinkaya e Sterbenz (2011), realizando inferências de possíveis cenários a partir da utilização de combinação entre modelagem e simulação para avaliação de desempenho.

Resultados mostraram uma efetiva economia de energia, comprovando a eficiência do modelo proposto. Foram comparados três cenários, um comunicando apenas através da macro (atualmente utilizado), outro comunicando através da femtocélula (cenário de maior economia) e outro utilizando ambas as tecnologias, todavia utilizando a alocação de usuários através do modelo *fuzzy*, buscando economia de energia e qualidade de serviço das aplicações.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 descreve a tecnologia femtocélula e mostra o cenário tipo. A seção 3 mostra o modelo de inteligência computacional que foi implementado. A seção 4 descreve a simulação realizada bem como a validação do modelo proposto e por fim a seção 5 apresenta a conclusão e referências.

2. Femtocélula e a Arquitetura de Rede

Femtocélulas são dispositivos utilizados para melhorar a cobertura de redes móveis em pequenas áreas, ligadas localmente, fornecendo serviços para telefones celulares e dispositivos móveis através de conexões tradicionais 2G (GSM), 3G (UMTS) ou 4G (WiMAX ou LTE), e em seguida, encaminhar as ligações de banda larga ao longo de uma conexão com a Internet de volta para a transportadora, ignorando as torres normais (ERBs ou *nodeBs*).

Esta tecnologia cria uma ponte entre redes cabeadas móveis e pessoais, usando uma conexão de Internet de alta velocidade (seja pessoal ou empresarial) de ligação para os operadores macro-rede. Fazendo isso, é mais fácil para estender o acesso à rede móvel, proporcionando uma melhor cobertura para a população (especialmente em áreas onde não havia nenhum sinal ou sinal fraco), e fornecer alta largura de banda para os usuários.

Femtocélulas são normalmente instaladas por usuários não-especialistas, dessa forma, no instante da instalação não são considerados características de desempenho da rede, uma vez que, basta conectar um ponto de acesso femto a um DSL (*Digital Subscriber Line*) e ligá-lo. O ponto de acesso femtocélula auto-organiza seus parâmetros operacionais de rádio e de sistema. O nó cliente se conecta a rede com maior potência de sinal, ou seja, a femtocélula, porém esta escolha torna-se injusta em dois aspectos: (a) Ao apenas considerar a capacidade de sinal do ponto de acesso femtocélula, pode ocorrer situações de superlotação dessa rede, ocasionando o impedimento no oferecimento de serviços com qualidade de serviço por essa rede; (b) Dada a escolha de alocação por parte do cliente, a conexão de rede realizada exclusivamente pelo nível de potência do sinal, pode não atender aos requisitos de qualidade do usuário, que poderia obter um melhor serviço através de outra rede próxima, mesmo com uma bateria de custo mais elevado. Este fato é agravado quando se considera a diversidade de aplicações existentes, que têm diferentes requisitos de qualidade de serviço.

Um cenário típico de rede macro-femto co-canal é composto por células fornecendo acesso sem fio para usuários móveis através de macrocélulas ou femtocélulas, conforme pode ser visualizado na Figura 1.

Neste cenário, um dispositivo celular padrão enxerga duas redes possíveis para que possa se conectar: a rede femtocélula, a qual está conectada a Internet através de uma conexão banda larga, como por exemplo, via xDSL ou fibra ótica, tendo como saída a rede móvel da operadora, também conhecida como *Mobile Operator Core Network*; as redes Macro célula através das *NodeBs* - *Rádio Base Stations* interligando os usuários finais aos BSCs (*Base Station Controllers*) os quais controlam toda a rede para posteriormente encaminhar ao núcleo da rede da operadora.

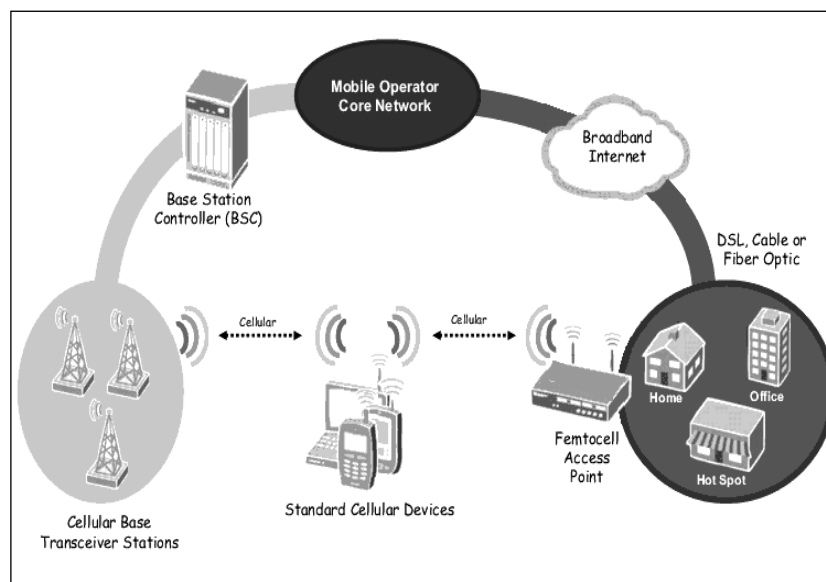


Figura. 1. Cenário típico de uma rede macro-femto co-canal

Os principais elementos do núcleo da rede são: *Gateways GPRS Support Node* (GGSN), *Serving GPRS Support Node* (SGSN) e *Rádio Network Controller* (RNC), onde o GGSN provê a interconexão com outras redes, como a Internet ou redes privadas, enquanto o SGSN busca a localização dos dispositivos móveis e faz o roteamento dos pacotes de tráfegos para eles, e o RNC é responsável pelo gerenciamento dos rádios, segundo Hongyan (2003).

3. Modelo Computacional Inteligente

A solução proposta neste trabalho visa à implementação e simulação de um modelo, baseado em Inteligência Computacional (IC), que permita a alocação otimizada de usuários em redes macro-femto co-canal, com o objetivo de minimizar o consumo de bateria dos dispositivos móveis, sem afetar a qualidade do serviço das aplicações.

Na literatura são encontrados valores bastante específicos para o QoS das aplicações, tendo assim que ficar a cargo dos especialistas a definição de valores gradativos para a análise da variância da qualidade. Neste sentido este trabalho propõe a utilização da teoria dos conjuntos nebulosos (*fuzzy*) Zadeh (1985), pois é uma das tecnologias bem sucedidas no desenvolvimento de sistemas para controlar processos sofisticados, Driankov, *et al.* (1993) Lee (1990) Castro (1995). A lógica *fuzzy* é multivalorada, isto é, reconhece diversos valores, assegurando que a verdade é uma questão de ponto de vista ou de graduação Shaw e Simões (1999).

3.1 Sistema de Inferência *Fuzzy*

A teoria por base da lógica e conjuntos *fuzzy* (nebulosos ou difusos) foi proposta por Zadeh (1965), como extensão dos conjuntos clássicos. A abordagem visa representar o raciocínio humano e incertezas existentes quanto ao domínio de aplicação com base em conjuntos. Desta forma, possibilitando caracterizar os processos estudados através da modelagem e manipulação matemática de informações vagas e imprecisas, naturais da linguagem humana, bem como de conhecimento provenientes de especialistas.

Esta manipulação (ou inferência) é feita a partir da composição de variáveis escolhidas para modelar o processo em questão, sendo a implicação das variáveis independentes nas dependentes, estabelecida por um conjunto de regras linguísticas baseadas no conhecimento de especialistas Munakata (2008), deste modo fundindo a teoria da lógica *fuzzy* em um sistema de inferência (Figura 2).

O sistema é composto por três módulos. Um módulo fuzzificador que modela matematicamente a informação das variáveis de entrada por meio de conjuntos *fuzzy* (agrega o conhecimento do especialista); O módulo da base de regras *fuzzy* constitui o núcleo do sistema, e neste módulo se guardam as variáveis e suas classificações linguísticas e; O módulo de Máquina de Inferência, onde são definidas os conectivos lógicos usados para estabelecer a

relação *fuzzy* que modela a base de regras e o módulo de defuzzificador, responsável por traduzir o estado da variável de saída *fuzzy* para um valor numérico.

Neste sentido, o trabalho propõe um modelo com cinco variáveis de entrada: tipo de aplicação (variável discreta composta pelas classes aplicações de voz e aplicações de dados); nível de bateria disponível no dispositivo móvel dos usuários (representa a quantidade de bateria que o usuário dispõe no dispositivo móvel, neste trabalho foi estabelecida uma escala de 0% a 100%); perda de pacotes da rede (porcentagem de perda de pacotes das redes, variando em uma escala de 0.5% a 30%); consumo de conexão (variável que estabelece o consumo de energia na realização da conexão em questão, tendo valores com variância entre 7.6J a 10.8J) e; vazão disponível nas redes (quantidade de banda disponível, compreendendo a faixa de valores entre 0 Kbps a 5000 Kbps). Assim, ao passo que são implementadas as variáveis mencionadas é possível aproximar o modelo da realidade a ser testada, uma vez que representam os componentes da arquitetura de redes macro-femto co-canal focadas no estudo.

Como variável de saída, foi estabelecida uma nota, que corresponde a classificação da escolha da rede, ou seja, é efetivamente a tomada de decisão do sistema, implicando em que rede o usuário deve se conectar. Fora implementada a máquina de inferência Mandani min-max e defuzzificador centro de gravidade Martin (1996).

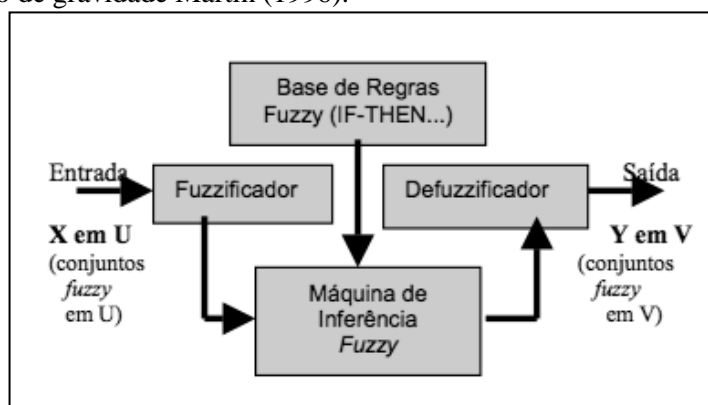


Figura. 2. Organização genérica de um sistema *fuzzy*

A Tabela 1 relaciona as variáveis linguísticas empregadas e os correspondentes conjuntos *fuzzy* associados:

Table 1. Variáveis do sistema

Variáveis linguísticas	Conjuntos fuzzy
Aplicação	voz, dados
Nível Bateria	baixo, medio, alto
Perda de Pacotes (Perda)	muitobaixo, baixo, medio, alto, alto2x, alto3x, alto4x
Vazão	muitobaixo, baixo, medio, alto, alto2x
Consumo	baixo,alto
Nota	Baixa, regular, bom, excelente

Nota: dados trabalhados pelos autores

Ao definir as funções linguísticas das variáveis de entrada, o atributo aplicação, por ser discreto, foi definido com *singletons* para cada classe. As demais entradas foram mapeadas com funções triangulares e trapezoidais, sendo os limites especificados com o auxílio de um especialista no domínio.

Nas figuras 3-8 são apresentadas as funções membro das variáveis de entrada e saída do sistema *fuzzy* e seus respectivos conjuntos *fuzzy* associados.

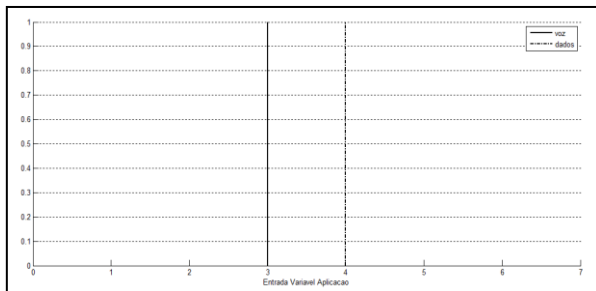


Figura 3. Variável de entrada – Aplicação

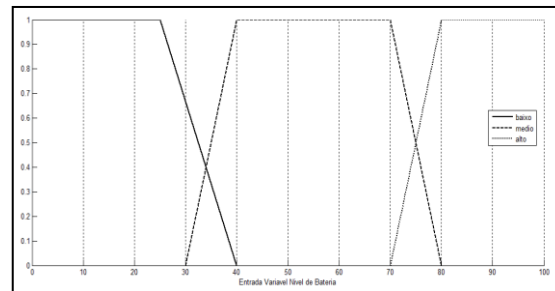


Figura 4. Variável de entrada – Percentual de Nível da bateria

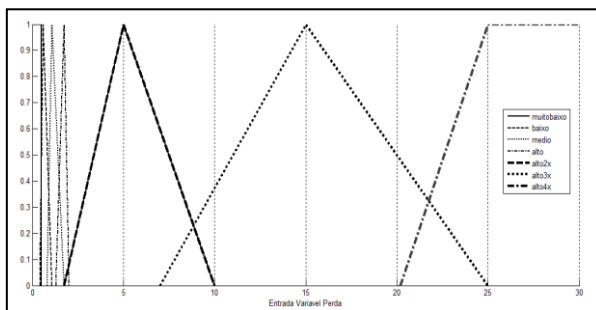


Figura 5. Variável de entrada – Percentual de Perda

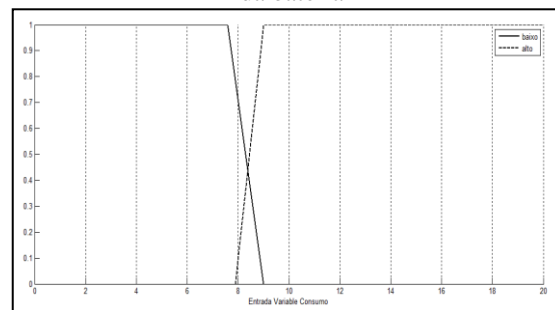


Figura 6. Variável de entrada – Consumo em Joules

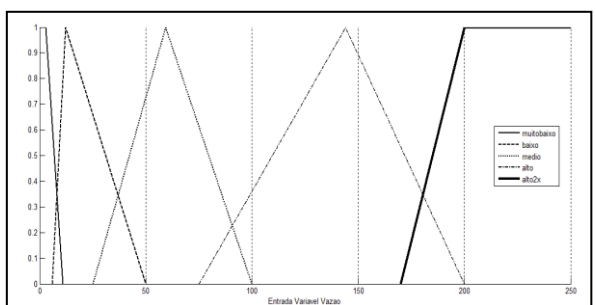


Figura 7. Variável de entrada – Vazão em kbps

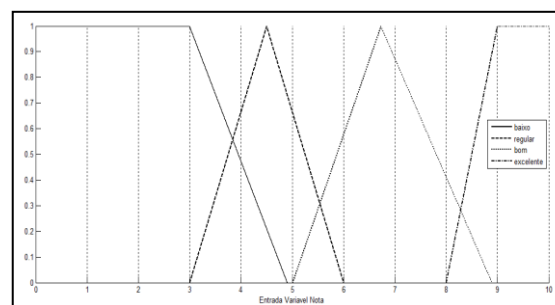


Figura 8. Saída - Nota

Considerando o espaço de combinações entre as funções linguísticas das variáveis de entrada e saída, delimita-se o tamanho da base de regras por 325 diferentes proposições. Abaixo podem ser vistas algumas das regras usadas para este sistema de inferência (Tabela 3). A interpretação das regras se dá analogamente à organização da base de regras para o sistema de seleção de rede - i.e. tomando como exemplo a regra 001 (conforme Tabela 3), lê-se “se aplicação é do tipo voz e nível de bateria é alto e perda é MuitoBaixa e consumo é baixo e vazão com alto2x, então a nota será excelente”.

Tabela 2. Base de regras do sistema

Nº	Aplicação	Nível de Bateria	Perda	Consumo	Vazão	Nota
001	Voz	Alto	MuitoBaixa	Baixo	Alto2x	Excelente
002	Voz	Medio	MuitoBaixa	Baixo	Alto	Bom
003	Voz	Baixo	MuitoBaixo	Baixo	Médio	Baixa
			...			
325	Dados	Baixo	Alto	Alto	Alto2x	Regular

4. Simulação

O modelo foi implementado em um simulador de redes denominado NS3 (*Network Simulator version 3*) que é um simulador orientado a eventos para redes de pacote. Ele permite desde a simulação de redes locais de computadores (*Local Area Network – LAN*) até redes em larga escala (*Wide Area Network - WAN*) utilizando protocolos padrões. O NS3 possui especial interesse por parte dos pesquisadores devido possibilitar o desenvolvimento de novos protocolos e alteração de protocolos existentes para fins de pesquisa e desenvolvimento. O NS3 é um projeto livre e aberto organizado por uma comunidade de pesquisadores.

A partir da versão 3.9 do NS, está disponível a implementação de modelos de consumo de energia por um determinado nó ou pelas redes em geral. Esta estrutura é composta principalmente de duas classes, *EnergySource* e *DeviceEnergyModel*. A classe *EnergySource* é responsável por definir qual o modelo de fonte de energia será utilizada, podendo ser definido como uma bateria linear e não-linear, respectivamente, com as classes *BasicEnergySource* e *RvBatteryModel*. Para as simulações foi escolhido a bateria modelo não-linear *Rakhmatov-Vrudhula* (RV) de acordo com Rakhmatov e Vrudhula (2001), que é tido como um modelo mais realista em relação às baterias utilizadas atualmente. Já a classe *DeviceEnergyModel* define o comportamento do consumo de energia por parte do dispositivo. Cada tecnologia de rede sem fio pode ter um comportamento de consumo diferente, dependendo das tecnologias de transmissão e potência utilizados. A Tabela 3 mostra os parâmetros utilizados nas simulações com o NS3, e a Tabela 4 mostra a especificação das aplicações de dados e voz, respectivamente, segundo Zhang (2003) e Coupechoux *et al.*(2004).

Tabela 3. Parâmetros da Macro célula e Femtocell

Parâmetros	Macro célula	Femtocélula
Potência	23 dBm	15 dBm
Ganho da antena	15 dBi	8 dBi
Altura	30 m	1 m
Frequência	5.735 GHz	5.735 GHz
Largura de banda	10 MHz	5 MHz
Raio de cobertura	2 km	20 m

Tabela 4. Parâmetros das aplicações dados e voz Coupechoux *et al.*(2004)

Parâmetros	Voz	Dados
Tamanho do pacote	244 bits	1024 bits
Taxa de dados	12.2 Kbps	144 Kbps
Protocolo	UDP	TCP
Duração	60s	45s
Modelo aplicação	<i>OnOffApplication</i>	<i>OnOffApplication</i>

4.1 Cenário de Validação

O processo de validação garante que o modelo está funcionando da maneira que foi planejado e orientado. Portanto, o modelo foi validado para garantir a sua confiabilidade e eficiência, permitindo a análise e investigação de vários cenários que podem ocorrer (mudanças na chegada de entrada e tempo de serviço para as duas classes de tráfego, número de usuários, a capacidade da rede, os custos definidos, etc.). Nesse sentido, um cenário foi implementado. Para este cenário foi especificado uma distância entre o usuário móvel e a femtocélula de 20 (vinte) metros e entre o usuário móvel e a macrocélula de 480 (quatrocentos e oitenta) metros, e a duração da simulação foi de 20min. A (Figura 9) mostra o cenário criado para validação. Também foram considerados os parâmetros perda, vazão e consumo das tecnologias, e os valores correspondentes as variáveis linguísticas elaboradas no modelo *fuzzy*, respectivamente, tanto para macrocélula quanto para femtocélula, como mostra (Tabela 5). O cenário implementado segue o comportamento caracterizado por uma macrocélula com 0,5% para perda de pacotes, e taxa de transferência de 1 Mbps. A femtocélula com 2% de perda de pacotes e 5 Mbps de taxa de transferência.

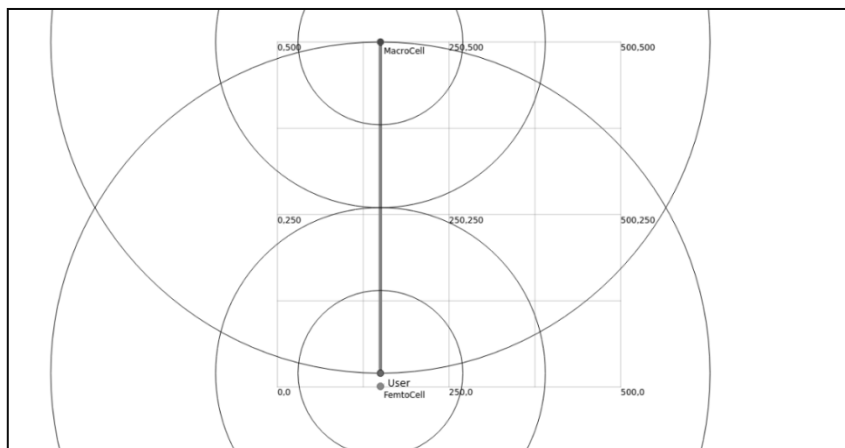


Figura 9. Cenário de validação

Tabela 5. Caracterização da situação do cenário de validação

Parâmetros de QoS	Macro	Femto
Perda	Alto	Medio
Vazão	Muitoalto	Muitoalto
Consumo	Alto	Baixo

4.2 Análise dos Resultados

Ao analisar o consumo de bateria do cenário de validação, (Figura 10), pode-se observar uma efetividade na utilização do modelo proposto, pois o gasto observado para as ligações realizadas com saída destinada a femtocélula, gerou um gasto de aproximadamente 9%, já as ligações que tiveram como saída a macrocélula, apresentaram um gasto de aproximadamente 37%. Ao implementar o modelo de alocação *fuzzy* neste mesmo cenário o gasto foi de aproximadamente 12%. Para a coleta destes resultados a simulação realizada teve duração de 1200s.

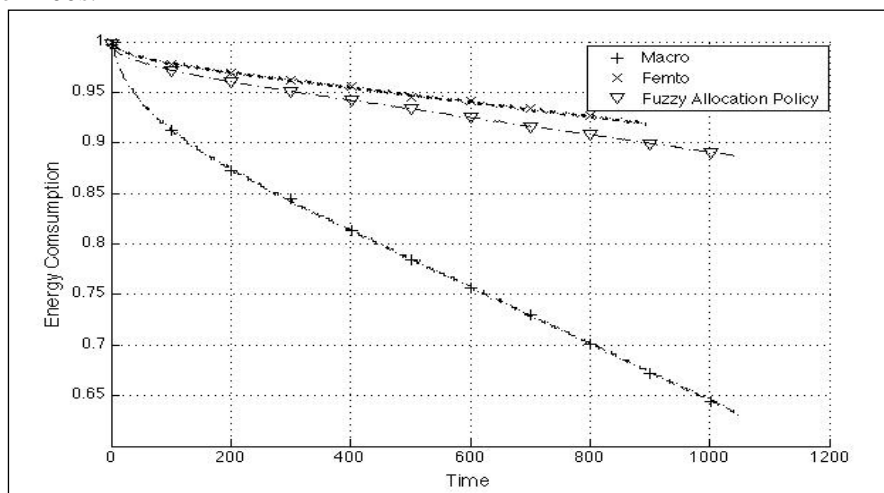


Figura 10. Gráfico do consumo de bateria

Os valores obtidos para o modelo condizem com o esperado, pois se previa uma porcentagem de gasto que se enquadra entre as duas outras tecnologias testadas, significando que o modelo está direcionando as chamadas a rede mais adequada, alcançando níveis de eficiência energética em relação à macrocélula, onde é observado uma redução do gasto em 25%. Esse valor corresponde a uma economia de bateria do dispositivo móvel de aproximadamente 2.160s, assumindo que em média a duração da bateria desses dispositivos atualmente comercializados duram em torno de 86.400s.

O objetivo do modelo de alocação *fuzzy*, além de mostrar soluções de melhor utilização da energia, também visa garantir serviço de qualidade aos usuários, dessa forma para o cenário de validação também foram analisados parâmetros de QoS das aplicações como: atraso, *jitter* e perda, sendo que esses parâmetros diferem-se para aplicações de protocolo UDP (*User Datagram Protocol*) (voz) e TCP (*Transmission Control Protocol*) (dados).

As Tabelas 6-7 mostram uma comparação das medidas de desempenho analisadas, nas três situações simuladas, para aplicações de voz e dados, respectivamente.

Tabela 6. Medidas de Desempenho - Voz

	Atraso (ms)	Jitter (ms)	Perda (%)
Macro	23,48	10	0
Femto	32,58	7,3	0,001
Modelo de Alocação <i>Fuzzy</i>	13,56	3,15	0

Tabela 7. Medidas de Desempenho - Dados

	Atraso (ms)	Jitter (ms)	Perda (%)
Macro	24,51	9,92	9,92
Femto	32	7,1	0,003
Modelo de Alocação <i>Fuzzy</i>	11,34	2,36	0

Quanto as medidas de desempenho, devido este cenário caracterizar uma rede com baixa carga, não se obteve medidas significativas de atraso e *jitter* para as aplicações de voz e dados, em todos os casos, os valores ficaram abaixo do aceitável, que é de 150ms para aplicação de dados e 100 ms para aplicações de voz Barra (2005) ITU-T (2001).

Vale ressaltar que com a alocação de usuários de modo inteligente, obteve-se melhorias nas medidas de desempenho. Para as aplicações de voz, em média, houve uma diminuição de 42% no atraso obtido em relação à rede macro e de 58% em relação a rede femto. Para a medida de desempenho *jitter*, obteve-se uma diminuição de 31% em relação as redes macro e 43% em relação as redes femto. O mesmo comportamento ocorreu nas aplicações de dados.

Desta forma, pode-se observar que através da utilização de uma alocação de usuários inteligente, tornou-se possível otimizar o uso da bateria do celular do usuário de forma efetiva, sem afetar os níveis de QoS das aplicações.

5. Conclusão

No cenário atual, onde a preocupação com a eficiência energética vem ganhando muito espaço, pode-se concluir que a economia de energia em sistemas de comunicações móveis está intimamente relacionada com a redução do consumo de energia de transmissão BSS e MSS. Neste contexto, o uso inteligente da conexão do usuário entre macrocélula e femtocélula define sempre a procura por QoS e baixo consumo de energia.

Aliado a isso, a tecnologia femtocélula possibilita a diminuição da carga associada a rede macrocélula, no entanto este tipo de implementação pode gerar uma sobrecarga de sinalização, assim como perda de qualidade das aplicações. Associado a isso, o conceito de redes verdes (Green Network) tem chamado grande atenção por buscar utilizar de forma eficiente a energia utilizada pelos dispositivos de rede.

Nesse sentido, este trabalho apresentou uma proposta de alocação de usuários em redes macro-femto co-canal baseado em um modelo de lógica *fuzzy*, com o objetivo de minimizar o consumo de bateria, sem afetar a qualidade do serviço das aplicações. A tecnologia femtocell aliada a um modelo de Inteligência Computacional, mais especificamente um modelo *fuzzy*, constitui uma possibilidade para a utilização de serviços banda larga nos dispositivos móveis, buscando o conceito de rede verde.

Através dos resultados apresentados é possível perceber que o modelo realiza uma economia de energia efetiva sem afetar as características da rede, distribuindo melhor os usuários e, em alguns casos, melhorando a qualidade do serviço oferecido, ou seja, afetando diretamente as medidas de desempenho de QoS. Como trabalhos futuros, deseja-se realizar extrapolações, aproximando ainda mais de situações reais.

Referências

- Anatel** – Agência Nacional de Telecomunicações. Disponível em <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalInternet.do#>, acessado em 20/04/2013, 2013.
- Bannister, J., Mather, P. e Coope, S.** Convergence Technologies for 3G Networks. England. Wiley, 1º Edition.
- Barra, C. R.** Controle Dinâmico de Qualidade de Serviço em Redes IP. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Elétrica – Sistemas Eletrônicos), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.
- Beck, K. e Ralph, J.** Patterns Generates Architectures. Proceedings of European Conference of Object-Oriented Programming. Bologna, Italy, pp. 139-149, 1994
- Castro, J.** Fuzzy logic controllers are universal approximators. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics., 25(4):629 – 635, 1995.
- Chang, C. W., Zhang, T. F., Yang, C. Y.** Data transmission with the battery utilization maximization. Journal Of Computer Science And Technology 26(3): 392404 (2011)
- Chiaraviglio, L., Ciullo, D., Meo, M., Marsan, M.** The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'08) Energy-Aware Umts Access Networks (2008)
- Coupechoux, M., Kumar, V. e Brignol, L.** Voice over IEEE 802.11b Capacity, 2004.
- Driankov, D., Hellendoorn, H. e Reinfrank, M.** An Introduction to Fuzzy Control. Springer-Verlag, Lee, C.: Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller (part i). IEEE Transactions on Systems, Man an Cybernetics., 20(2):404 – 418, 1993.
- Holger C., Lester T. W. H., e Louis G. S.** An Overview of the Femtocell Concept.. In Bell Labs Technical Journal, Vol. 13(1),pp.221246, 2008.
- Holma, H. e Toskala, A.** 2004. WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications. Third edition, John Wiley & Sons, 2004.
- Hongyan, B., Chen, H., e Lingge, J.** Performance analysis of vertical handover in a UMTS-WLAN integrated network, In: Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC 2003. 14th IEEE Proceedings on, Page(s): 187 - 191 Vol.1, 2003.
- ITU-T Study Group 12** —Multimedia QoS requirements from a user perspective, 2001.
- John D. H. e Holger C.** Deployment Options for Femtocells and Their Impact on Existing Macrocelular Networks, In Bell Labs Technical Journal, Vol. 13(4), pp.145160, 2009.
- Karl, H.** An overview of energy efficient techniques for mobile communication systems. Technische University Berlin, Tech. Rep, 2003.
- Kelly, T.** ICTs and climate change. ITU-T Technology. Tech. Rep, 2007
- Kim J. Y, e Cho D. H.** A joint power and subchannel allocation scheme maximizing system capacity in dense femtocell downlink systems. In Proc. IEEE Int. Symp. Personal, Indoor, Mobile Radio Commun. (PIMRC), Tokyo, Japan, 2009.
- Martin, J.** A Grande Transição. São Paulo: AMACOM - American Management Association, Ed. Futura, 1996.
- Matworks.** Fuzzy Toolbox User's Guide: for use with MATLAB. Natick, MA: The MathWorks, Inc, 2001.
- McLaughlin S.** Green radio, The key issues-programme objectives and overview. Wireless World Research Forum, 2008
- Munakata, Toshinori,** Fundamentals of the New Artificial Intelligence: Neural, Evolutionary, Fuzzy and More, 2º Edição, Editora Springe, 2008, USA.
- Rakhmatov, D. N. e Vruthula, S. B. K.** An analytical high-level battery model for use in energy management of portable electronic systems. Em: Computer Aided Design, 2001. ICCAD 2001. IEEE/ACM International Conference on, San Jose, CA, USA, 2001.
- Shaw, I. S. e Simões, M. G.** Controle e Modelagem Fuzzy. São Paulo: Ed. Edgard Bl ucher, 1999.
- Zadeh, L.** Fuzzy sets. Fuzzy Sets, Information and Control, 8:338 – 353, 1965.
- Zhang N.** Simulation-based investigation of TCP file transfers over UMTS. Dept. of Electronic & Electrical Engineering, University College London. 2003.

Çetinkaya, E. e Sterbenz, J. EECS 882 Introduction to Network Simulation with ns-3. Mobile Wireless Networking, The University of Kansas, disponível em: <http://www.ittc.ku.edu/~jpgs/courses/mwn>, 2011.