

UMA PROPOSTA DE ALGORITMO DE ESCALONAMENTO PARA REDE LTE

Fabrizio Geraldo Araújo, Paulo Roberto Guardieiro
Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG
fabaraujo23@gmail.com, prguardieiro@ufu.br

Resumo – Neste trabalho propõe-se um algoritmo de escalonamento baseado no algoritmo *First Maximum Expansion* (FME) objetivando a justiça entre os fluxos dos usuários móveis em redes *Long Term Evolution* (LTE). O algoritmo proposto utiliza-se de informações sobre o status do canal (*Channel State Information* - CSI) para obter altos níveis de equidade sem dependência do histórico de utilização do enlace do usuário, de maneira oposta ao algoritmo *Proportional Fairness* (PF) encontrado na literatura, dessa forma evitam-se custos computacionais adicionais na *Evolved Node B* (eNB). Os estudos de avaliação de desempenho do algoritmo proposto, baseados em modelagem e simulação, demonstraram que melhores índices de justiça são alcançados com o algoritmo proposto se equiparado ao algoritmo FME.

Palavras-Chave – Equidade, Escalonamento, LTE, Uplink

A NOVEL SCHEDULING ALGORITHM FOR LTE NETWORK

Abstract - In this work we propose a scheduling algorithm based on the *First Maximum Expansion* (FME) algorithm, aiming fairness among flows of mobile users in *Long Term Evolution* (LTE) networks. The proposed algorithm uses information about the status of the channel (*Channel State Information* - CSI) to obtain high levels of fairness without dependency on the experienced throughput, unlike the *Proportional Fairness* (PF) algorithm found in the literature, and thus avoids additional computational cost in *Evolved Node B* (eNB). Performance evaluation studies, based on modeling and simulation, showed that the proposed algorithm offers better fairness index when compared with FME algorithm.

Keywords – Fairness, LTE, Scheduling, Uplink

I. INTRODUÇÃO

O número de usuários de comunicações móveis tem crescido de forma exponencial nos últimos anos. O aumento da diversidade de produtos e serviços, principalmente

aplicações de tempo real, contribui para este crescimento. Diante disso, o surgimento de novas tecnologias de redes móveis celulares se torna uma necessidade para atender este desafio.

As redes *Long Term Evolution* (LTE) representam a proposta do *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) para atender este desafio. Esta nova tecnologia de redes móveis celulares por arquitetura de rede *all-IP*, proporciona melhor utilização dos recursos de rádio, maior eficiência espectral e baixa latência. Dessa forma, torna possível a implementação de aplicações exigentes em termos de vazão elevada e atrasos reduzidos.

O 3GPP define o esquema de transmissão na interface aérea da rede LTE, como sendo o *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) como técnica de acesso para o *downlink* e *Single Carrier FDMA* (SC-FDMA) para o *uplink*.

O *uplink* utiliza o SC-FDMA pelo fato de permitir um baixo *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR), o que reduz o consumo de energia na amplificação do sinal, provendo um menor consumo de bateria nos aparelhos móveis utilizados pelos usuários.

O consumo de energia durante uma transmissão no *uplink* é ajustado de acordo com o *Power Control* (PC) e interfere no processo de alocação de recursos. Assim o 3GPP define o *Channel Sounding Concept* com o intuito de facilitar o escalonamento para o tráfego *uplink*. Este consiste basicamente em um usuário transmitir sinais de referência (*Sounding Reference Signal* - SRS) no tráfego *uplink* cobrindo a totalidade ou uma parte do espectro possível para alocação [1]. O SRS é utilizado pela eNB para extrair informações sobre o status do canal (*Channel State Information* - CSI) e assim atribuir um AMC referente.

Logo, para uma melhor eficiência na utilização do SC-FDMA, é necessário a utilização da contiguidade para a alocação de blocos de recursos (*Resource Blocks* - RBs). Para isso deve-se atentar para o problema de NP-hard durante o desenvolvimento de um algoritmo para alocação de recursos, caso contrário isto poderá acarretar elevados índices de processamento e custo computacional.

O 3GPP não especifica o tipo de escalonador que deve ser utilizado ou o tipo de alocação de recursos, tanto para o tráfego *uplink* quanto para o tráfego *downlink*. Com base nisso, vários algoritmos são propostos por diferentes autores utilizando abordagens distintas. Em trabalhos anteriores, como [2], [3] e [4], foram apresentados os principais algoritmos encontrados na literatura para alocação de recursos e seus desempenhos, abordando vantagens e desvantagens em suas utilizações de acordo com as características do SC-FDMA.

Já no trabalho apresentado em [5], os autores avaliaram o desempenho de um algoritmo de escalonamento utilizando diferentes métricas *Proportional Fairness* (PF) para o tráfego



XI CEEL – ISSN 2178-8308
25 a 29 de novembro de 2013
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

uplink, mas não utilizam a contiguidade durante a alocação de recursos no domínio da frequência. Com base nisso propõe-se um algoritmo de escalonamento baseado no algoritmo FME para alcançar a equidade entre os fluxos dos usuários no tráfego *uplink*.

Este trabalho está organizado como se segue. Na Seção II descreve-se a arquitetura da rede LTE e suas principais características. Já a Seção III apresenta o algoritmo proposto para a equidade dos fluxos dos usuários. Na Seção IV apresentam-se os parâmetros juntamente com a modelagem de simulação utilizados no estudo. Os resultados alcançados através de simulações computacionais e análise dos mesmos apresentam-se na Seção V. Por fim, as conclusões e trabalhos futuros são descritos na Seção VI.

II. SISTEMA LTE

O sistema LTE, possui como rede de acesso a *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN), que é a evolução das redes móveis de próxima geração. Baseia-se em uma estrutura de comunicação capaz de atender exigentes requisitos de desempenho. A rede LTE trata-se de uma rede banda larga móvel que valoriza fatores como, velocidade de acesso, baixa latência, baixo consumo de energia e compatibilidade com tecnologias anteriores.

O LTE foi projetado para suportar serviços comutados por pacotes, em contraste com redes anteriores baseadas em comutação por circuitos. A arquitetura de rede móvel utilizada é baseada na rede IP.

A arquitetura LTE divide-se em quatro principais domínios de alto nível: *User Equipment* (UE), E-UTRAN, *Evolved Packet Core* (EPC) e os Serviços superiores ao EPC, conforme ilustra a Figura 1 [6].

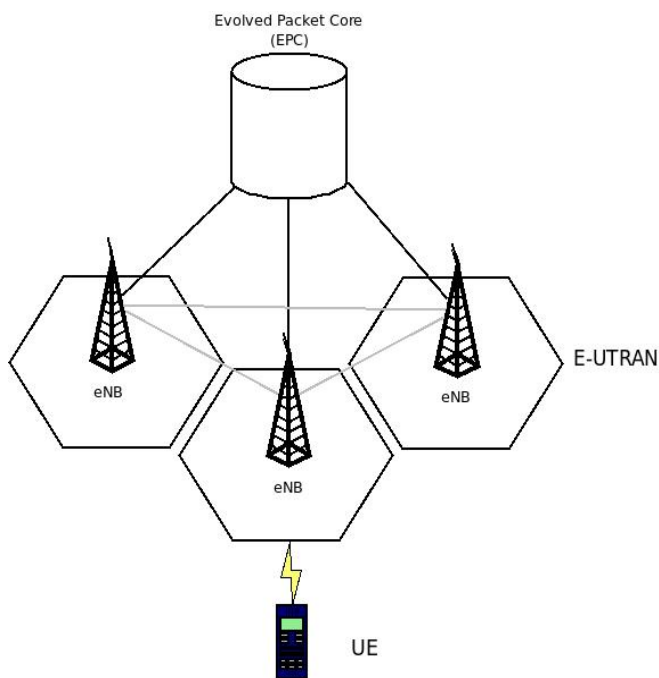


Fig. 1. Arquitetura da Rede LTE.

Além da divisão em domínios, a arquitetura pode ser dividida em dois planos que determinam a pilha de

protocolos da arquitetura LTE: plano do usuário e o plano de controle. Sendo que, para o plano do usuário do lado da rede, todos os protocolos estão localizados na eNB, devido a arquitetura plana empregada na rede LTE.

A eNB atua como *bridge* entre o UE e o EPC transferindo a informação proveniente da conexão rádio existente com o UE para uma dada conexão IP com o EPC. A eNB também é responsável pela gestão de recursos de rádio por meio do *Radio Resource Management* (RRM), dessa forma atua no escalonamento em ambos os tráfegos, *uplink* e *downlink* [6].

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) foi definido como o esquema básico de transmissão para o enlace de rádio da rede LTE, devido às suas características, tais como sua elevada eficiência espectral em comparação com outros esquemas e pela capacidade de se adaptar a variações de acordo com as condições de canal [6].

Diante disso, o conceito de multiportadoras é fundamental para a rede. Entre cada subportadora possui um espaçamento de 15 kHz. As subportadoras são agrupadas, onde cada grupo, formado por 12 com o devido espaçamento, formam um RB [7].

A rede LTE é flexível em relação à largura de banda. De acordo com a largura utilizada tem-se uma quantidade de blocos de recursos. O acesso multiusuário é alcançado através da atribuição de diferentes blocos para os vários usuários no tempo e na frequência.

No *downlink*, o OFDMA é implementado com um grande número de subportadoras adjacentes. A quantidade de subportadoras que podem ser alocadas para cada usuário pode variar e, assim, atender aos requisitos de QoS das aplicações.

Já no *uplink*, a eficiência do consumo de energia é uma preocupação importante. Como já mencionado, o alto PAPR é uma desvantagem do OFDM convencional, por conseguinte, uma forma diferente de interface aérea é utilizada, o SC-FDMA. Este é implementado por apresentar um baixo PAPR, dessa forma possui um menor consumo de energia para os dispositivos móveis.

A Figura 2 mostra as diferentes abordagens do OFDMA e SC-FDMA. Enquanto o OFDMA utiliza portadoras distintas em paralelo para transmitir dados, o SC-FDMA utiliza uma única portadora para cada fluxo de dados [8].

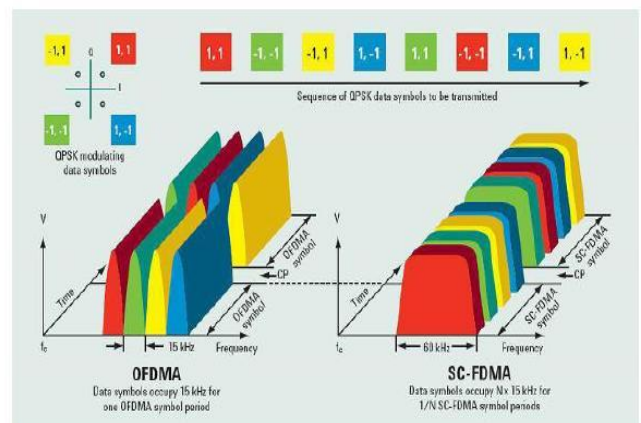


Fig. 2. OFDMA e SC-FDMA [8].

A. Escalonamento no Tráfego Uplink

O principal objetivo do escalonador para o tráfego *uplink* é alocar recursos para os serviços dos usuários de forma que maximize a eficiência da rede. Tal eficiência pode ser alcançada de acordo com alguns objetivos do sistema como, maximização da vazão, justiça, requisitos de atraso máximo limitado, consumo de energia, etc.

Para isso, recursos são alocados em unidades de *Physical Resource Blocks* (PRBs). Como já mencionado, cada PRB consiste em 12 subportadoras e 7 símbolos SC-FDMA, com 0.5 ms de duração. Logo, decisões de escalonamento são feitas a cada Time Transmission Interval (TTI), que no LTE equivale a 1 ms.

O escalonador que atua no tráfego *uplink* pode ser dividido em duas unidades de escalonamento: no domínio do tempo (*Time Domain Packet Scheduler* - TDPS) e no domínio da frequência (*Frequency Domain Packet Scheduler* - FDPS). No TDPS faz-se a filtragem de usuários que efetuaram *requests* (solicitação de recursos para transmissão) à eNB. Posteriormente, no domínio da frequência, será feita a alocação de recursos, como é apresentado na Figura 3.

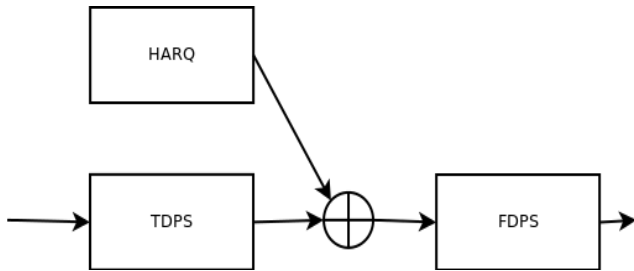


Fig. 3. Escalonamento no domínio do tempo e da frequência.

Para o escalonamento, os usuários enviam mensagens de sinalização ou relatórios de suas condições em dado momento, como o SRS ou o *Buffer Status Report* (BSR) para a eNB. Com base nessas informações a eNB pode tomar decisões de escalonamento e alocação de recursos em ambos os domínios, de acordo com a métrica aplicada.

As métricas aplicadas ao escalonador podem variar de acordo com o objetivo que se deseja alcançar. Algumas se baseiam em condições do canal sem atribuir requisitos de QoS no cálculo [9], outras já tentam alcançar um melhor índice de justiça entre os usuários [5]. Entretanto, o escalonador precisa garantir QoS para os múltiplos serviços utilizados pelos usuários.

SC-FDMA possui restrições para atingir um melhor desempenho durante a fase de escalonamento, pois, se torna necessário que as transmissões ocorram em subportadoras adjacentes. Isto significa que os recursos não podem ser alocados livremente e precisam ser contíguos no domínio da frequência, o que impõe uma limitação na diversidade de usuários.

Os principais algoritmos de escalonamento propostos na literatura foram projetados para alcançar uma melhor eficiência na rede, como o *First Maximum Expansion* (FME) e o *Recursive Maximum Expansion* (RME). Ambos possuem como ênfase a alocação de recursos e utilizam

principalmente o paradigma sobre a condição do canal para decisões de escalonamento no domínio do tempo.

III. ALGORITMO DE ESCALONAMENTO PROPOSTO

Nesta seção é apresentado o algoritmo proposto baseado no algoritmo FME para o tráfego *uplink*. O algoritmo desenvolvido utiliza informações CSI dos usuários em sua métrica PF. Além disso, a alocação de recursos utiliza contiguidade em sua heurística para alcançar um melhor desempenho na rede.

O algoritmo de escalonamento PF é uma das estratégias mais conhecidas e pesquisadas para a rede LTE. A sua finalidade é proporcionar melhores garantias de QoS de forma justa para todos os usuários da rede.

O escalonador de pacotes PF tem como finalidade garantir que todos os fluxos dos usuários, independentemente de suas condições, possam as mesmas possibilidades de serem escalonados no próximo TTI. Esse procedimento é satisfeito devido ao PF realizar um bom balanceamento entre a vazão e a equidade dos seus usuários através de sua métrica.

O PF encontrado na literatura visa maximizar a razão entre a taxa de dados instantânea e a vazão média do desempenho do usuário na rede [10]. Dessa forma,

$$m_{PF(u,r)} = \frac{t(u,r)}{T(u)} \quad (1)$$

onde t é a vazão atual do fluxo do usuário u em relação ao bloco de recurso r , assim que a eNB recebeu o SRS correspondente. Logo, T é a vazão média do desempenho do usuário u . Dessa forma tem-se o PF normalmente estudado na literatura, no qual a eNB precisa armazenar informações sobre a performance dos fluxos dos usuários para executar o escalonamento.

O algoritmo FME utiliza por padrão a seguinte equação,

$$m_{FME(u,r)} = t(u,r) \quad (2)$$

onde t é a vazão instantânea da aplicação do usuário u em relação ao bloco de recurso r no TTI atual. Portanto, o algoritmo de escalonamento FME aloca com prioridade blocos de recursos para as aplicações dos usuários com melhores condições, com isso ocasionalmente fluxos de usuários com piores condições podem sofrer “inanição” na rede.

O algoritmo proposto é um ajuste para o algoritmo FME, objetivando o índice de justiça entre os fluxos de dados dos usuários. A equação proposta pode ser expressa da seguinte maneira,

$$m_{PF-SINR(u,r)} = \frac{S_{CSI}(u,r)}{S_{CSI,W}(u)} \quad (3)$$

onde S_{CSI} é a condição do canal da aplicação do usuário no TTI atual de acordo com o SINR, que é estimado a partir do SRS com o valor de CSI correspondente. Já o $S_{CSI,W}$ é a condição total da rede referente ao SINR entre a eNB e o usuário.

Ao contrário da métrica PF encontrada na literatura, o PF-SINR não precisa calcular o valor de $S_{CSI,W}$ para cada TTI, uma vez que se define que o SINR da rede é estacionário e conhecido no TTI e a largura de banda é suficientemente abrangente para não se alterar durante o escalonamento [5]. Com isso a métrica PF-SINR não tem qualquer dependência sobre o desempenho anterior das aplicações dos usuários, por esta razão pode classificá-lo como uma métrica livre de memória.

O algoritmo proposto é ilustrado na Figura 4.

Algoritmo de Escalonamento	
1:	$U_{UE} \leftarrow$ conjunto de UEs ainda não escalonados
2:	$R_{RB} \leftarrow$ conjunto de RBs ainda não alocados
3:	for all $u \in U_{UE}$ do
4:	$m = S_{CSI}(u,r)/S_{CSI,W}(u)$
5:	Forma-se a matriz de métricas UE/RB
6:	end for
7:	while $R_{RB} \neq 0$ e $U_{UE} \neq 0$ do
8:	Encontra o melhor UE / RB de métrica em m
9:	Aloca RB r para o usuário u
10:	$R_{RB} \leftarrow R_{RB} \setminus \{r\}$
11:	while $m(u,r) = \max(m(:,r))$ do
12:	Aloca RBs vizinhos ao usuário em ambas as direções
13:	$R_{RB} \leftarrow R_{RB} \setminus \{r\}$ direita
14:	$R_{RB} \leftarrow R_{RB} \setminus \{r\}$ esquerda
15:	end while
16:	Após a alocação, o usuário é removido do vetor
17:	$U_{UE} \leftarrow U_{UE} \setminus \{u\}$
18:	end while

Fig. 4. Algoritmo de Escalonamento Proposto.

IV. MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Para avaliar o algoritmo proposto foi utilizado o LTE-Sim [11] como simulador.

O cenário de rede utilizado consiste de uma única célula equipada com uma antena omnidirecional utilizando o SC-FDMA como interface aérea para transmissão, assim como é definido pelo 3GPP.

O tempo de simulação possui 10000 TTIs de duração, sendo que cada TTI corresponde a 1 ms. Foi considerada uma largura de banda de 5 MHz com 25 RBs a serem escalonados em cada TTI. Os usuários são distribuídos na célula de forma aleatória.

A Tabela I apresenta os principais parâmetros utilizados para a simulação. Para simplificar o estudo executou-se apenas fluxo Web.

Tabela I – Parâmetros de simulação

Parâmetros	Valores
Tempo de Simulação	10000 TTIs
Tempo do Subframe	1 ms
Largura de Banda	5 MHz
Espaço entre os Subcarriers	15 kHz
Nível de Transmissão eNB	43 dBm
Reuso da Frequência	4 clusters
Modelo de Propagação	Urbano Macro-Célula
Layout da Célula	Raio de 0,5 Km
Mobilidade do Usuário	Randômico
Velocidade do Usuário	30 Km/h
Quantidade de Usuários	70
Modelo de Tráfico	Web
Simulador	LTE-Sim 5

V. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta seção referem-se a simulações realizadas com o emprego do algoritmo FME descrito em [3] e com o emprego do algoritmo proposto, visando a comparação de desempenho entre eles em termos de justiça e vazão.

Na Figura 5 apresenta a vazão média, tanto do algoritmo FME como do algoritmo proposto, em função da quantidade de *requests* no sistema.

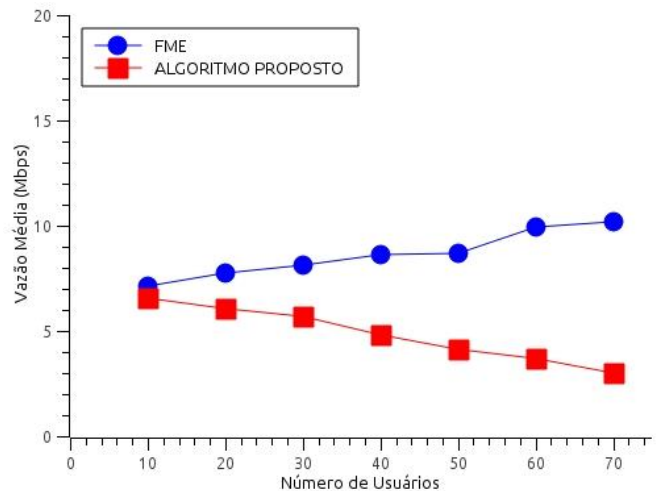


Fig. 5. Vazão Média em função do Número de Usuários.

Pode-se notar que o algoritmo FME possui melhores resultados para a vazão, pois utiliza como métrica usuários com melhores condições. Dessa forma fluxos mais próximos à eNB tem prioridade de escalonamento em relação àqueles que estão em uma posição ruim na célula.

A Figura 6 mostra que o ajuste proposto ao algoritmo FME tem melhores índices de justiça em função da quantidade de *requests* no sistema, se comparado ao FME encontrado na literatura.

Como pode ser visto, o algoritmo proposto nesse trabalho alcançou maiores níveis de justiça e, com isso, os fluxos dos usuários têm uma maior probabilidade de serem escalonados.

Porém, o algoritmo proposto apresenta valores menores de vazão média se equiparado ao algoritmo FME, isto é devido ao fato deste priorizar usuários com melhores condições. Dessa forma, o algoritmo apresentado, com seu comportamento e desempenho na rede, conseguiu alcançar resultados satisfatórios de justiça no escalonamento.

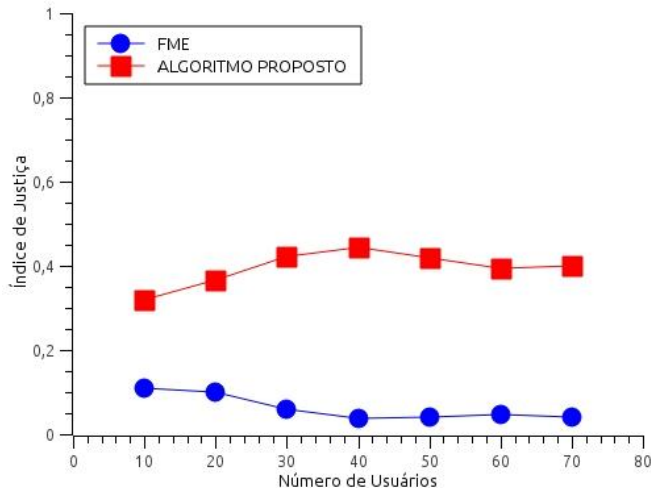


Fig. 6. Índice de Justiça em função do Número de Usuários.

VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho propôs-se um algoritmo de escalonamento, baseado no algoritmo FME, para atingir melhores índices de justiça no tráfego *uplink* em redes LTE.

A proposta utilizou uma versão do PF em que não se tem dependência sobre o histórico de utilização do enlace dos usuários, diminuindo assim o custo computacional na eNB. A equação considerada no escalonamento no domínio do tempo utilizou informações do status de canal obtidas através do CSI.

O desempenho deste algoritmo foi avaliado em termos de níveis de justiça e vazão média dos fluxos de acordo com a quantidade de *requests* recebidos na eNB.

Os resultados das simulações demonstraram que o algoritmo proposto consegue alcançar melhor índice de justiça entre os fluxos dos usuários se comparado ao

algoritmo FME encontrado na literatura, aumentando assim a probabilidade de todos os usuários serem atendidos. Para os trabalhos futuros pode-se adicionar métricas para alcançar uma maior vazão a fim de melhorar a eficiência da rede.

REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP, Technical Specification Group Services and System Aspects - Policy and charging control architecture (Release 12), 3GPP TS 23.203.
- [2] K. Elgazzar, M. Salah, A. Taha e H. Hassanein, "Comparing Uplink Schedulers for LTE," ECE Department - Queen's University Ontario, 2010.
- [3] M. Salah, "Comparative Performance Study of LTE Schedulers", Queen's University Ontario, 2011.
- [4] F. Liu e Y. Liu, "Improved Scheduling Algorithms for Uplink Single Carrier FDMA System," Journal of Information and Computational Science, pp. 9-11, 2012.
- [5] F. Calabrese, C. Rosa, K. Pedersen e P. Mogensen, "Performance of Proportional Fair Frequency and Time Domain Scheduling in LTE Uplink," Wireless Conference, 2009, EW 2009. European, 2009.
- [6] S. Sesia, I. Toufik e M. Baker, "LTE, The UMTS Long Term Evolution: From theory to practice," John Wiley and Sons, 2009.
- [7] K. Tahboub, "Comparison of Channel Dependent Scheduling Policies in LTE Uplink".
- [8] U. Villanueva, "Coexistência entre as Tecnologias de 3ª e 4ª Gerações", Dissertação (Mestrado), PUC-Rio, 2011.
- [9] F. Liu, X. She, L. Chen e H. Otsuka, "Improved Recursive Maximum Expansion Scheduling Algorithms for Uplink Single Carrier FDMA System," IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), pp. 1-5, 2010.
- [10] F. Capozzi, G. Piro, G. Boggia e P. Camarda, "Downlink Packet Scheduling in LTE Cellular Networks: Key Design Issues and a Survey," IEEE (Volume: 15, Issue: 2) Communications Surveys & Tutorials, 2012.
- [11] G. Piro, L. Grieco, G. Boggia, F. Capozzi e P. Camarda, "Simulating LTE Cellular Systems: An Open-Source Framework," IEEE Transactions (Volume: 60, Issue: 2) Vehicular Technology, pp. 498-513, 2011.