

Análise de performance da comunicação D2D em redes LTE-A

Helio de Paula Moura e Carlos Alberto Vieira Campos

Resumo— O mecanismo *Device-to-Device* (D2D) é a tecnologia que permite a comunicação direta entre dispositivos dentro de uma rede celular, permitindo o estabelecimento de coberturas menos custosas, mais eficientes e flexíveis. Para uma rede *Long Term Evolution - Advanced* (LTE-A) o uso do D2D, embora bastante promissor, ainda encontra alguns desafios, seja na questão da interferência ou mesmo na disposição espacial dos dispositivos com relação a uma eNodeB, assim como uma adequada avaliação de desempenho. Uma abordagem bastante utilizada para avaliar o seu desempenho é através da simulação. Este artigo faz uso dessa abordagem e tem como principal contribuição a avaliação de desempenho de uma rede LTE-A com D2D em ambiente simulado com características realísticas.

Palavras-Chave— Redes Sem Fio, Redes Celulares, Dispositivos de Comunicação, Simulação, LTE-A, D2D.

Abstract— The *Device-to-Device* (D2D) mechanism is a technology that enables direct communication between devices within a cellular network, allowing the establishment of less costly, more efficient and flexible coverage. For a LTE-A network the use of D2D, although quite promising, still encounters some challenges, be it in the matter of interference or even in the spatial arrangement of devices with respect to an eNodeB, as well as the appropriate performance evaluation. A widely used approach to assessing their performance is through simulation. This paper makes use of this approach and its main contribution is the performance evaluation of a LTE-A network with D2D in a simulated environment with realistic features.

Keywords— Wireless Networks, Cellular Networks, Communication Devices, Simulation, LTE-A, D2D.

I. INTRODUÇÃO

As redes celulares tiveram um forte crescimento nos últimos anos, principalmente com o advento das tecnologias 3G e 4G, com a proposta de atender serviços de dados com grande largura de banda. Muitas funções destinadas às tradicionais redes de telefonia, por exemplo, a comunicação em tempo real, vem aos poucos sendo incorporadas na forma de prestação de serviços à rede de dados *Internet Protocol* (IP), que promove a comutação de pacotes e, dentro do contexto de convergência, estabelece a interface com a rede de comutação de circuitos e a rede de telefonia.

O padrão *Long Term Evolution* (LTE) e o recém lançado *Long Term Evolution - Advanced* (LTE-A) vem para suprir a crescente demanda de serviços de dados, alavancados por aplicações que a cada dia exigem maior velocidade e menor latência, principalmente para aplicações multimídia em tempo real. Nesse contexto, o LTE-A tem por objetivo obter alta velocidade, baixa latência, maior confiabilidade, disponibilidade

Helio de Paula Moura, Carlos Alberto Vieira Campos, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro-RJ, Brasil, E-mails: helio.moura@uniriotec.br, beto@uniriotec.br

e cobertura, permitindo ainda a transparência necessária na operação com a rede móvel das gerações anteriores.

Dentro do contexto de redes móveis, a tecnologia D2D estabelece um interessante mecanismo de comunicação direta entre dispositivos, mantendo a mesma qualidade de serviço [1], taxas de dados aceitáveis e, acima de tudo, transparente para os usuários. O principal interesse nesse mecanismo é o grande potencial para a diminuição dos custos da cobertura da rede celular.

Devido a isso, existe grande interesse por parte das operadoras, principalmente em se tratando do mecanismo D2D *inband*, no qual existe em uma mesma faixa do espectro celular, a coexistência de serviços de comunicação celular e D2D. Já no modelo D2D *outband* [2], a comunicação celular se faz no espectro reservado para a rede celular e a comunicação D2D se utiliza da faixa *Industrial, Scientific and Medical* (ISM). Este último não é muito considerado pelas grandes operadoras na medida que existe uma grande dificuldade em gerenciar serviços fora do espectro celular, por exemplo, na comunicação estabelecida em uma faixa ISM. Além de empresas e operadoras de rede celular, existe também grande interesse da área acadêmica em função dos desafios ainda em aberto, por exemplo, na questão da escalabilidade, interferência, desempenho, entre outros.

Uma representação funcional pode ser visualizada inicialmente na Figura 1, onde temos a comunicação de um dispositivo móvel com a *E-UTRAN Node B* (eNodeB) que o assiste, assim como ocorre em uma comunicação celular tradicional.

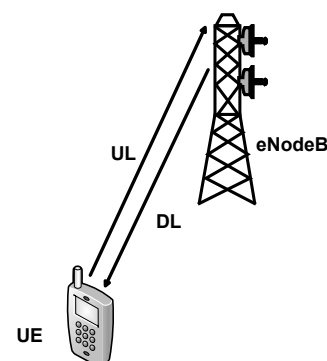


Fig. 1. Comunicação de dispositivo eNodeB em uma rede celular

A Figura 2 representa uma comunicação D2D, onde os dispositivos estabelecem comunicação direta em uma faixa previamente selecionada.

A Figura 3 representa uma situação na qual é estabelecida

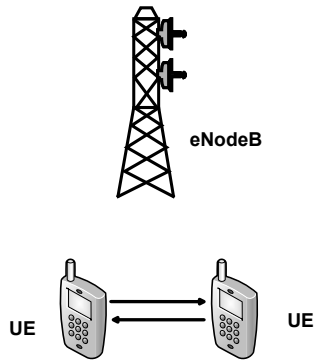


Fig. 2. Comunicação D2D entre dispositivos em uma rede celular

uma comunicação D2D entre alguns dispositivos, para o acesso à eNodeB, em situações onde diretamente a cobertura pode não ser satisfatória ou possível.

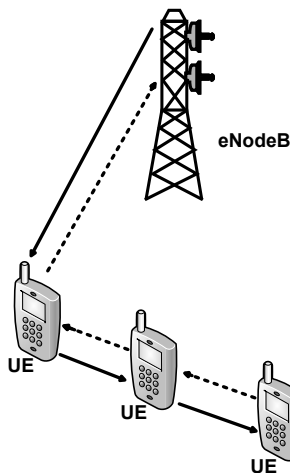


Fig. 3. Comunicação D2D para acesso a eNodeB

A comunicação D2D pode aumentar a eficiência das redes móveis ao fazer com que os dispositivos móveis atuem de forma independente, ou seja, com a comunicação sendo feita diretamente entre eles, assim como retransmissores de sinais da rede considerando que dispositivos intermediários possam repassar mensagens para dispositivos que estão fora do alcance direto da eNodeB [8].

Dentro desse contexto, o presente artigo tem por objetivo tratar a avaliação de desempenho em ambientes simulados para cenários de redes celulares LTE-A na presença da tecnologia D2D. A escolha do simulador assim como a sua adequada configuração e programação tem papel fundamental nessa avaliação. Dessa forma, a contribuição do presente artigo consiste na proposição de um modelo de simulação para avaliar o desempenho de uma rede celular LTE-A com D2D, estabelecendo a adequada parametrização e configuração do simulador afim de se obter a avaliação de cenários em situações próximas a realidade.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção II são apresentados conceitos básicos sobre D2D em contextos de redes celulares, estratégias de simulação e

trabalhos relacionados. Na Seção III encontra-se o cenário avaliado, com os detalhes de implementação. Na Seção IV são apresentados os resultados obtidos na simulação com a correspondente análise. Por fim, a conclusão e trabalhos futuros são descritos na Seção V.

II. FUNDAMENTOS E TRABALHOS RELACIONADOS

O LTE-A é a tecnologia desenvolvida para atender a crescente demanda de tráfego nas redes celulares e o sucessor da bem sucedida tecnologia 4G. O LTE usa OFDM como tecnologia de acesso ao rádio, junto com tecnologias avançadas para reutilização de canais, diversidade espaço-temporal, entre outras. Algumas das vantagens com relação a geração anterior, está na redução do custo por bit, melhor provisionamento de serviço, mais serviços de baixo custo com melhor experiência do usuário, uso flexível das bandas existentes, arquitetura simplificada com interfaces abertas e baixo consumo de potência do terminal móvel [2].

Com o pensamento na próxima geração de redes celulares, o LTE-A tenta minimizar o problema da capacidade da rede. Devido a isso, a tecnologia D2D permite a comunicação direta entre dispositivos, em contraponto ao mecanismo no qual a comunicação de dados sempre se faz através de uma eNodeB. Esta mudança tem por base um cenário em que cada vez mais os dispositivos possuem a capacidade de trafegar dados mais pesados como fluxo de vídeos em tempo real. Todavia, a atual estrutura de rede celular não consegue dar vazão a este tipo de comunicação de maneira satisfatória.

Nesse contexto é considerado que a próxima geração de redes celulares se baseie em duas camadas, uma contendo macro células, onde as BSs se comunicam com os dispositivos, no modelo atual em funcionamento; e outra com comunicação de dispositivo para dispositivo (D2D).

A. Trabalhos relacionados

Na comunicação D2D, conceitualmente existe a necessidade de que os dispositivos estejam próximos o suficiente para que a comunicação D2D ocorra, o que também pode afetar a performance da rede. Em geral, a avaliação de performance para a comunicação D2D se divide em propostas não-formais, com o uso de simuladores de eventos, onde é possível estabelecer esquemas para a avaliação de performance em ambiente simulado, e propostas formais, com o uso de modelagens matemáticas para a definição de parâmetros e equações matemáticas que representam o desempenho da rede.

Em [3] é destacada a descoberta de dispositivos e situações de proximidade para que seja possível a troca de tráfego D2D entre os usuários. Essa descoberta é assistida pela rede, sendo dessa forma centralizada, o que evita o tratamento intensivo nas questões de interferência, sinalização, controle e gerenciamento. A modelagem matemática para a determinação da probabilidade de descoberta de dispositivos e, com o uso de aproximações matemáticas, é possível estabelecer expressões para a avaliação de desempenho da rede.

Em [4] os autores analisam a interrupção de serviço e utilizando expressões probabilísticas fechadas, estabelecem uma análise de desempenho que verifica a efetividade dos

mecanismos adotados em D2D para estender a cobertura da eNodeB. Em [5] o modelo é estendido para que seja possível a atuação em redes móveis LTE envolvendo cenários no qual o mecanismo D2D esteja presente, habilitando parâmetros e configurações importantes para simulações desse contexto.

Em [6] é apresentado um modelo de simulação com o simulador OMNeT++ e o *framework* SimuLTE, que pode ser aplicado a diversos cenários e situações que envolvam redes móveis LTE.

Em [7] é proposto um modelo para redes heterogêneas no intuito de investigar o desempenho do mecanismo D2D. O modelo baseia-se em geometria estocástica utilizado para descrever as diferentes posições das células na rede, permitindo a avaliação de desempenho do mecanismo D2D nas células menores e mais densas.

III. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Com o objetivo de avaliarmos a comunicação D2D no LTE-A iremos descrever nesta seção, o simulador utilizado, os parâmetros configurados para cada componente da simulação e os cenários de avaliação investigados com e sem o uso de D2D.

A. O simulador utilizado

O simulador escolhido foi o OMNeT++ 5.0 por ser vastamente utilizado para cenários que envolvem redes cabeadas, redes sem fio, redes celulares, *ad hoc* dentre uma vasta gama de opções e ferramentas disponíveis. Para que todas as funcionalidades estejam disponíveis para a simulação desejada foi instalado os *frameworks* INET 4.0 e SimuLTE. O primeiro é necessário para habilitar todas as funcionalidades com características sem fio, redes móveis, entre outras ferramentas. Já o segundo, provê toda a funcionalidade para a rede celular LTE, necessária para habilitar os mecanismos previstos no D2D.

O OMNeT++ 5.0 e os *frameworks* foram instalados em uma distribuição LINUX Ubuntu 16.04 LTS seguindo a orientação dos desenvolvedores do OMNeT++ 5.0. Para efeito de simulação e capacidade de processamento foi usado um *notebook* composto de um processador core i7 2,4 GHz, 8 GB DDR3 de memória RAM. Já instalado, o *framework* SimuLTE em sua base contém diversos exemplos para explorar as funcionalidades disponíveis para o LTE-A. A funcionalidade de D2D é disponibilizada em dois diretórios: D2D e D2D *multicast*. O D2D *multicast* é o utilizado para a simulação deste trabalho.

B. Parâmetros de simulação

O modelo de atenuação de sinal considerado foi o modelo de perda no espaço livre. Este modelo teórico leva em conta o fenômeno onde apenas parte da energia transmitida através das ondas eletromagnéticas é captada pela antena receptora. Esta energia é tanto menor quanto maior a frequência e a distância. Teoricamente é expresso pela seguinte equação:

$$L = 32,5 + 20\log d + 20\log f \quad (1)$$

onde L é a perda total no percurso, d é a distância em Km e f a frequência em MHz.

Para que um determinado *User Equipment* (UE) consiga fazer o *download* de determinado pacote é necessário que a potência limiar de recepção seja de -75 dBm [9]. Abaixo desse valor não existe troca de tráfego, ou seja, o *download* não será realizado. Vale destacar que embora a UE não consiga fazer o *download*, nos casos em que a potência está abaixo do limiar, existe, em todos os casos, a sinalização sempre está disponível. Dessa forma, é possível que a eNodeB possa habilitar a comunicação D2D para os dispositivos, de forma a permitir que os mesmos possam se comunicar entre si.

O tamanho do pacote disponível para *download* é de 64 KBytes. A solicitação do arquivo é realizada sempre no intervalo de 10 ms. A faixa de frequência usada para o sistema LTE-A é centrada em 2,0 GHz (padrão europeu), com largura de canal igual a 20 MHz [9].

Algumas premissas foram necessárias a fim de permitir que os cenários a serem investigados fossem adequadamente simulados. Dessa forma, as seguintes premissas devem ser levadas em consideração:

- 1) A eventual interferência estabelecida no enlace compartilhado (nível físico) em uma comunicação D2D não será considerada.
- 2) A comunicação D2D se estabelecerá única e exclusivamente para que se consiga ter o acesso à estação eNodeB.
- 3) Todas as UE(s) serão habilitadas para realizar uma comunicação D2D assim que percebida alguma falha no enlace direto com a eNodeB.
- 4) A comunicação via D2D será permitida para mais de um nó, ou seja, uma determinada UE poderá estar associada a uma ou mais UE(s).
- 5) Para que a comunicação D2D se estabeleça será necessário que pelo menos uma UE esteja associada à estação eNodeB. Em hipótese nenhuma existe comunicação D2D com todas as UE(s) desassociadas da eNodeB.
- 6) O tamanho das mensagens de sinalização pode ser considerado desprezível se comparado com os dados de *download*. Dessa forma, as mesmas não serão levadas em consideração para o cálculo da taxa média de transmissão.
- 7) Todos os cenários contém uma eNodeB. Dessa forma, o *handoff* ou a comutação de células não acontecerá.
- 8) Não serão consideradas interrupções de serviço pelos demais sistemas que compõem a arquitetura da rede celular LTE-A.
- 9) A transmissão da eNodeB na área segue aproximadamente uma cobertura Omnidirecional, sendo uma aproximação

razoável para fins práticos.

- 10) A condição de distância para que a comunicação D2D ocorra está limitada até 100 metros. Para valores maiores que 100 metros, entre duas estações móveis ou UE(s), a comunicação D2D não ocorrerá.
- 11) As UE(s) não possuem mobilidade. São estações estacionárias e alocadas nas posições que obedeçam os itens anteriores.

Dentro do OMNET++ 5.0 foi utilizado a variante de simulação D2D *Multicast - 1to2*, disponível no diretório que identifica o *framework* SimuLTE.

C. Cenários de avaliação

Para a avaliação do desempenho foram estabelecidos cenários a fim de moldar o campo de observação e objetivo do presente artigo:

- 1) São consideradas 3 UE(s) e 1 eNodeB. Na primeira abordagem é considerado que 2 UE(s) estão na área de cobertura e 1 UE fora. Neste cenário não está habilitada a tecnologia D2D.
- 2) São consideradas 3 UE(s) e 1 eNodeB. Na primeira abordagem é considerado que 2 UE(s) estão na área de cobertura da estação eNodeB e 1 UE fora e, dessa sem serviço. Neste cenário a tecnologia D2D está habilitada.
- 3) São consideradas 5 UE(s) e 1 eNodeB. Na primeira abordagem é considerado que 2 UE(s) estão na área de cobertura e 3 UE(s) fora e sem serviço. Neste cenário o D2D também está habilitado.
- 4) São consideradas 7 UE(s) e 1 estação eNodeB. Na primeira abordagem é considerado que 2 UE(s) estão na área de cobertura da eNodeB e 5 UE(s) fora e sem serviço. Neste cenário, a comunicação D2D também está habilitada.

As UE(s) foram alocadas de forma estática no mapa a fim de respeitar os cenários indicados. Todos os cenários destacados acima foram configurados no arquivo *omnetpp.ini* do simulador OMNet++ 5.0.

A cada variação de potência de transmissão de 1 Watt no intervalo de 0 a 10 Watts, foram feitas 30 rodadas de simulação. Além disso, como tratamento estatístico dos resultados obtidos e apresentados na Seção IV, o erro amostrado é referente ao nível de confiança igual a 95%.

D. Métricas para avaliação de desempenho

A fim de avaliar o comportamento duas métricas foram estabelecidas observando a taxa de *download* para os cenários citados:

- 1) **Tráfego total:** é métrica que contabiliza o número de pacotes recebidos vezes o seu tamanho em Bytes.
- 2) **Taxa média de transmissão:** é a média da razão entre o tráfego total e o período de simulação, para uma dada potência de transmissão em W (Watt).

IV. RESULTADOS

Estabelecendo como comparativo de avaliação, apresentaremos os resultados para um cenário de rede no qual está habilitada a tecnologia D2D e outro cenário sem sua existência, com relação a taxa média obtida em MB/s em função da potência do sinal medida em Watts (W).

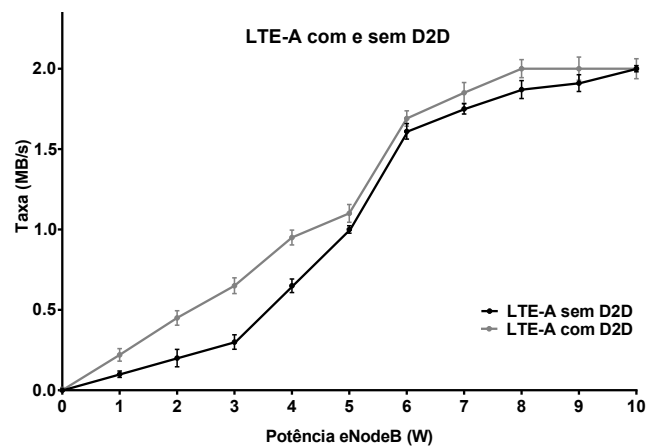


Fig. 4. Comunicação D2D entre dispositivos em uma rede celular, variando a potência de transmissão da eNodeB.

Na Figura 4 pode-se observar a relação da taxa em MB/s em função da variação da potência de transmissão na presença de uma rede celular LTE-A com e sem D2D habilitado. Neste caso, vale lembrar que o enlace foi limitado a 2 MB/s e contendo duas estações UE(s) com cobertura da eNodeB. É possível observar que no cenário com a presença de D2D existe um ganho, em vermelho, da rede celular habilitada com D2D em relação a situação sem D2D. Sendo que este ganho é maior para potências menores. Este resultado é esperado na medida que com o D2D a eNodeB aumenta a sua cobertura e, dessa forma, o atendimento do *download* tem a possibilidade de ser atendido um número maior de vezes.

Na Figura 5 é possível observar a taxa de transmissão que varia de acordo com o número das UE(s), indicada por cores distintas. É possível considerar e se espera que a rede tenha um maior desempenho em função da habilitação do modo D2D das UE(s) entrantes na rede. As UE(s) conseguem estabelecer comunicação por meio das UE(s) que estão cobertas, estabelecendo o serviço. Devemos considerar, neste caso, que a rede obteve maior cobertura em função do número crescente de pares D2D e, por consequência, obteve um acréscimo no atendimento do serviço indicado pelo aumento da taxa média.

Dessa forma, é possível aferir de acordo com os resultados obtidos, que a rede tem um ganho e maior cobertura com o uso da funcionalidade D2D, estabelecendo assim, um modelo

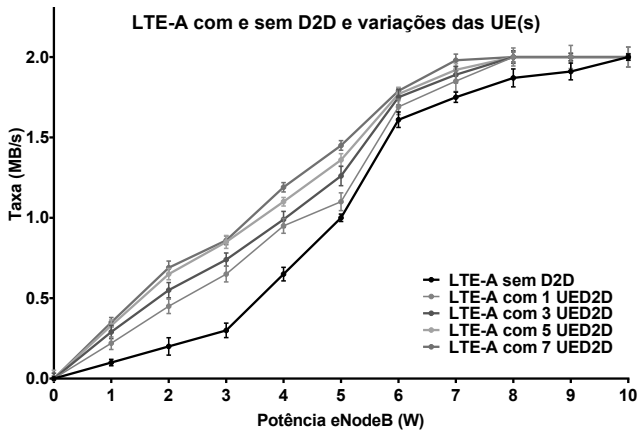


Fig. 5. Taxa de transmissão entre dispositivos em uma rede celular, com e sem comunicação D2D, variando a potência de transmissão da eNodeB e o número de UE(s).

capaz de atender um maior número de usuários, maior capacidade e, de certa maneira, maior cobertura.

V. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho buscamos investigar o desempenho da comunicação D2D em uma rede móvel celular. Assim, propusemos um modelo de simulação para a realização de testes de conceito em relação à tecnologia D2D em redes celulares LTE-A. Foi possível, a partir de simulações no simulador OMNet++5.0, estabelecer com sucesso uma prova de conceito a respeito do uso da tecnologia D2D. Como resultados, em um cenário onde se tem a presença de uma eNodeB, para a cobertura de uma determinada área, é possível que mesmo com um número pequeno de estações móveis, se estabeleça alguns ganhos com respeito a vazão e cobertura da rede, a fim de se obter uma maior penetração quanto ao serviço prestado por um determinado prestador de serviço.

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se criar cenários com a presença de outra célula eNodeB e, dessa forma, avaliar como a rede D2D se comportaria na presença de outra eNodeB. Neste caso cenários de *handover* influenciariam a análise de desempenho, na medida que a UE pode sair de uma condição D2D para uma condição de cobertura em uma eNodeB em outra célula. Outra sugestão seria considerar o estabelecimento de um maior número de estações móveis, assim como algum modelo de mobilidade, a fim de tornar o modelo de simulação mais próximo da realidade.

Por último, mas não menos importante, em uma rede celular podemos ter variações no seu funcionamento o qual pode influenciar a prestação dos serviços. Isso significa que em uma rede real, existem alguns períodos de indisponibilidade, por diversos fatores de erros de sistemas, interrupção de energia, queda e desastres ambientais, entre outros. Assim, vale a pena considerar qual seria a porcentagem média desses eventos e, dessa forma, estabelecer uma porcentagem em que possam ocorrer essas interrupções e passar a considerá-la no modelo de simulação.

VI. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado, parcialmente, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por meio da concessão da bolsa de estudos ao autor, e atualmente estudante de mestrado, Helio de Paula Moura.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Fodor, E. Dahlman, D. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklos e Z. Turanyi, "Design Aspects of Network Assisted Device-to-Device Communications", IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 3, pp. 170-177, Mar 2012.
- [2] A. Asadi, Q. Wang, V. Mancuso, "A Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks", IEEE Communications Surveys and Tutorials Vol. 16, pp. 1801-1819, Apr 2014.
- [3] D. Xenakis, M. Kountouris, L. Merakos, "Performance Analysis of Network-Assisted D2D Discovery in Random Spatial Networks", IEEE Transactions on Wireless Communications Vol. 15, no. 8, pp. 5695 - 5707, May 2016.
- [4] S. Chakrabarti, S. Das, "Poisson point process based performance analysis of D2D enabled heterogeneous wireless network", In: IEEE Annual India Conference (INDICON), Dec 2016.
- [5] A. Virdis, G. Stea, G. Nardini, "Simulating LTE/LTEAdvanced Networks with SimuLTE", Advances in Intelligent Systems and Computing Vol. 402, pp. 83-105, Springer, Jan 2016.
- [6] G. Nardini, A. Virdis, G. Stea, "Simulating device - to device communications in OMNet++ with SimuLTE: scenarios and configurations", In: <https://arxiv.org>, Set 2016.
- [7] A. Omri, M.O. Hasna, "Modeling and Performance Analysis of D2D Communications with Interference Management in 3-D HetNets", In: IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Washington, USA, Dec 2016.
- [8] D. Feng, L.Lu, Y.Y. Wu, G. Li, S.Li, G. Feng, "Device-to-Device Communications in Cellular Networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 52, no. 4, pp. 49-55, May 2014.
- [9] Wannstrom, J. (2013). Lte-advanced. Disponível em: <http://www.3gpp.org/technologies/97-lte-advanced>. Acessado em 15 de Julho de 2017.