

Análise de Heurísticas de Implantação de Small-Cells em Arquiteturas Centralizadas: Análise Baseada em Custo e Capacidade

Welton V. Araújo, Daniel da S. Souza, Carlos A. de M. Teixeira, Marcos C. da R. Seruffo, Diego L. Cardoso

Resumo—As redes móveis estão em constante crescimento. Tecnologias como redes heterogêneas (*HetNets*) e C-RAN (*Centralized Radio Access Networks*) aparecem como possíveis soluções para a evolução destas redes. Nesse sentido, este trabalho apresenta abordagens de utilização de ambas as tecnologias. Cenários com parâmetros que ilustram ambientes reais foram criados, junto com a utilização de métricas para a possível avaliação de desempenho. Com a posse dos resultados, é possível perceber que a mudança do tamanho da rede (número de usuários conectados) influencia diretamente nos resultados, além de se ter um bom indicio de qual tecnologia utilizar em determinada situação.

Palavras-Chave—*HetNets*, C-RAN, D-RAN, Implantação, Otimização.

Abstract—Mobile networks are constantly growing. Technologies such as heterogeneous networks (*HetNets*) and C-RAN (*Centralized Radio Access Networks*) appear as possible solutions for the evolution of these networks. In this sense, this work presents approaches for the use of both technologies. Scenarios with parameters that illustrate real environments were created, along with the use of metrics for the possible performance evaluation. With the results, it is possible to perceive that the change in the size of the network (number of connected users) directly influences the results, besides having a good indication of which technology to use in a given situation.

Keywords—*HetNets*, C-RAN, D-RAN, deployment, optimization.

I. INTRODUÇÃO

O crescimento do tráfego nas redes móveis é um fato que a cada dia fica mais visível. A indústria de aparelhos móveis está sempre inovando e diversificando os seus produtos, o que ocasiona uma aquisição crescente desses dispositivos, aumentando a vazão de dados nas redes em questão. Em 2020, de acordo com a Cisco [1], é esperado que o tráfego móvel global alcance 30,6 *exabytes* por mês, contrastando com o valor medido em 2015: 3,7 por mês. Esses dados apontam um crescimento, nos próximos 5 anos, de um pouco mais que 800% nas trocas de informações em todo o mundo.

Para acompanhar este crescimento, mudanças já começaram a ser realizadas nas redes 4G (quarta geração), uma delas, e muito importante, foi a criação de *HetNets* que, de acordo com [2][3], é uma combinação das grandes células de comunicação (*macro-cells*) com pequenas células (*small-cells*), em que as últimas possuem um pequeno raio de cobertura, mas com

Welton Vasconcelos Araújo, Daniel da Silva Souza, Carlos André de Mattos Teixeira, Marcos César da Rocha Seruffo, Diego Lisboa Cardoso, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, E-mails: {danielssouza, welton, seruffo, diego}@ufpa.br, carlos.mattos@itec.ufpa.br.

a mesma ou até melhor performance. Esta nova tecnologia consegue aumentar em grande escala a capacidade da rede, principalmente quando existe uma densificação de *small-cells*. O problema gerado por esse tipo de rede é o alto grau de interferência, assim a arquitetura C-RAN está surgindo para ser utilizada em conjunto com as *HetNets*, gerindo-as e trazendo diversos benefícios como maior eficiência energética, taxa de dados e melhor gerenciamento da rede, ajudando no controle da interferência.

A arquitetura C-RAN é um dos artifícios pretendidos a ser usados nas redes 5G (quinta geração), visto que é prometido o aumento grandioso da capacidade das redes móveis e da qualidade de transmissão para o usuário final. Neste sentido, este trabalho procura estudar os impactos que as *HetNets* e C-RAN irão causar nas redes do futuro, especificamente relacionados ao seu custo de implantação e capacidade de transmissão dos usuários.

O restante deste trabalho é organizado da seguinte maneira, a seção II irá apresentar o modelo de propagação assim como os cenários utilizados, a seção III irá apresentar os algoritmos de organização de *HetNets*, na seção IV será explicada a modelagem para a comparação entre os modelos C-RAN e D-RAN, na seção V serão apresentados os resultados e, por último, na seção VI serão apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

II. MODELO DE PROPAGAÇÃO E CENÁRIOS

A. Modelo de Propagação

Para simular a propagação dos sinais das antenas, foi utilizado o modelo de propagação SUI (*Stanford University Interim*) [4]. A motivação para o uso deste modelo de propagação é a possibilidade de modelar cenários com perdas próximas da realidade, contrastando com o modelo espaço livre. Para calcular o desvanecimento do sinal de acordo com o modelo é necessário o uso de três equações que serão mostradas a seguir:

$$L_{SUI} = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + S, d > d_0 \quad (1)$$

$$A = 20\log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) \quad (2)$$

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b} \quad (3)$$

Onde:

- d = distância da antena ao ponto medido, em metros;

- $d_0 = 1$ metro, distância de referência de acordo com [5];
- $\lambda =$ comprimento de onda, em metros;
- $\gamma =$ expoente de perdas;
- $h_b =$ altura da estação base, podendo estar entre 10 e 80 metros;
- a, b e $c =$ parâmetros que dependem do tipo de terreno utilizado, seus valores podem ser vistos na tabela I;
- $S =$ desvanecimento causado pelas áreas de sombreamento, podendo estar entre 8,2 e 10,6 dB.

TABELA I

PARÂMETROS DO TIPO DE TERRENO PARA O MODELO SUI [4]

Parâmetro	Terreno Tipo A	Terreno Tipo B	Terreno Tipo C
A	4,6	4	3,6
B	0,0075	0,0065	0,005
C	12,6	17,1	20

De posse do valor de perda de sinal em determinado ponto, é necessário encontrar a potência recebida naquele local, a fórmula 4 é utilizada para este cálculo, já transformada em Watts:

$$Pot_W = \frac{10^{\frac{Pot_i - L_{SUI}}{10}}}{1000} \quad (4)$$

Em que Pot_w é a potência recebida em watts, Pot_i é a potência inicial ou irradiada (da antena, em dBm) e L_{SUI} é o valor do desvanecimento do sinal. Uma vez obtido o valor de potência, é possível calcular o valor de SINR (equação 5) e então a vazão máxima (equação 6) do UE conectado:

$$SINR = \frac{Pot_W}{\sigma^2 + 1} \quad (5)$$

$$V_{max} = B * \log_2(1 + SINR) \quad (6)$$

Em que γ^2 é a soma das potências de todos os módulos de rádio que interferem na transmissão do sinal, enquanto que I é o valor do ruído branco. Na fórmula 6, B é a quantidade de banda disponível para o usuário.

Com a frequência utilizada sendo maior que 2Ghz, é necessário somar um fator de correção (equação 7) na equação de perdas, mostrada pela fórmula número 1.

$$\Delta L_{bf} = 6 * \log \frac{f}{2000} \quad (7)$$

Sendo que o valor de f é usado em MHz.

B. Cenários e Parâmetros Utilizados

Os parâmetros utilizados na modelagem estão resumidos na tabela II, assim como suas respectivas referências. Foi utilizado o MATLAB para a implementação dos cenários e dos algoritmos que serão apresentados na seção III, 30 iterações foram realizadas com a mudança da posição dos usuários, tendo como objetivo a obtenção de resultados de diferentes perspectivas.

TABELA II

LISTA DE PARÂMETROS UTILIZADOS NA MODELAGEM

Parâmetro	Valor/Tipo
Área Total do Cenário	Quadrada, 5Km de lado [6]
Número de UEs	300/600 [6]
P_{max}	20 dBm [7]
Frequência	3.5 GHz [7]
Tipo de Terreno	Tipo C
Sombreamento	9 dB
Largura de Banda (PRB)	180 KHz [8]
Quantidade de PRBS	100 [8]

III. HEURÍSTICA PARA ORGANIZAÇÃO DE HETNETS

A organização das HetNets foi realizada baseada em técnicas utilizadas para este fim, três diferentes abordagens serão apresentadas a seguir, assim como as suas peculiaridades. No começo dos testes, 169 *small-cells* candidatas, distribuídas de forma uniforme, eram consideradas implantadas e iam sendo eliminadas se fossem consideradas descartáveis.

A sequência em que as *small-cells* eram testadas dependia da técnica utilizada, que criava uma pilha de teste, organizando a sequência de acordo com as suas características. A antena de teste era retirada, então checavam-se todos os usuários para saber se estavam sendo atendidos por alguma estação base e se possuíam a capacidade de transmissão mínima permitida. Caso as demandas de todos os usuários fossem atendidas, a *small-cell* era descartada, caso contrário, era implantada. Adiante serão explicadas as peculiaridades de cada abordagem e como era feita a organização da pilha de decisão em cada uma delas. O algoritmo utilizado para cada técnica de implantação encontra-se disponível em [10].

A. Técnica Número Um: Baseada nos Usuários

A técnica baseada em usuários teve inspiração nas práticas das grandes empresas de telefonia. A infraestrutura de telefonia móvel geralmente é implantada em locais onde existe uma grande quantidade de usuários em potencial. As grandes cidades são um exemplo e nelas as redes móveis precisam ser muito robustas para garantir uma boa qualidade no serviço prestado.

O objetivo desta técnica é sempre evoluir a rede de acordo com a posição dos usuários: onde existir um maior conglomerado, melhor e mais robusta será a infraestrutura e isso resulta em uma densificação de módulos de rádio nesses locais. Levando este princípio em consideração, foi criado um algoritmo que se baseia na quantidade de usuários conectados a cada estação base. Este fato é chamado de grau de importância e quanto maior o número de usuários conectados àquela estação, mais importante ela se torna. A organização da pilha de testes é feita de acordo com o grau de importância das células, o topo da pilha começa com a estação menos importante e a sequência é montada de forma crescente, ficando na base a estação rádio base considerada mais importante.

B. Técnica Número Dois: Baseada no Custo de Implantação

As empresas, sejam de telefonia ou não, sempre lançam os seus produtos pensando no lucro final. Estudos são realizados para garantir que o custo de produção seja o mais baixo possível, mas ao mesmo tempo o produto final precisa ser impecável. Essas variáveis impactam diretamente no gasto com a produção e consequentemente no lucro, assim é necessário agradar o consumidor para continuar vendendo e ainda diminuir ao máximo os custos para que o lucro seja maximizado.

Levando em consideração o princípio apontado acima, o trabalho de Ranaweera *et al.* [9], estuda a implantação de *small-cells* em ambientes urbanos, considerando um limite de cobertura do mapa a ser alcançado e também o custo de implantação e ligação das RRHs (*Remote Radio Heads*) aos pontos de fibra existentes. São considerados pontos em que as estações podem ser ou não implantadas, em alguns já existe conexão de fibra ótica para realizar o processo de *backhauling*, enquanto em outros é inexistente: caso uma estação base seja implantada em um ponto em que não possui conexão, esta precisa ser ligada em algum ponto de fibra.

A técnica baseada no custo de implantação foi inspirada no trabalho de Ranaweera *et al.* [9]. A organização da pilha é feita de acordo com o custo de implantação, dessa forma no topo da pilha ficam as *small-cells* que possuem o maior custo e a organização é feita de forma decrescente, permanecendo na base aquelas com menor custo, o custo foi calculado de acordo com a equação 8, e na tabela III possuem os valores de custo unitário utilizados para o cálculo.

$$C_{total} = \frac{C_{cell}}{N_{users}} + C_{fiber} * N_{fibers} + C_{trench} * N_{trench} \quad (8)$$

Em que C_{total} é o custo total calculado para cada RRH. O parâmetro C_{cell} é o custo de aquisição de uma RRH, N_{users} é a quantidade de usuários conectados à RRH. O valor de C_{fiber} representa o custo de um metro de fibra ótica, enquanto N_{fibers} é o comprimento, em metros, necessário para interligar a estação base ao ponto de fibra mais próximo. Os valores de C_{trench} e N_{trench} representam, respectivamente, o custo por metro de escavação para a passagem de fibra e o comprimento necessário de escavação, medido em metros.

TABELA III

PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO CUSTO DA EQUAÇÃO 8[11]

Parâmetro	Valor
Custo de <i>small-cell</i>	1600 (US\$)
Custo de fibra (m)	0,16 (US\$)
Custo de <i>trenching</i>	1300 (US\$)

C. Técnica Número Três: Baseada na Vazão Total

A técnica baseada na vazão total teve a sua fundamentação no trabalho realizado por El-beaino *et al.* [6] que consistia em testar o impacto da ausência de cada uma das estações base que estavam sendo propostas à implantação. Para o teste, era necessário a aplicação de uma medida, assim foi escolhido um

fator de QoS: a vazão total da rede com a ausência da RRH em questão. Realizava-se a retirada, uma a uma, das *small-cells* e o cálculo do SINR de todos os usuários (e consequentemente da vazão) era feito para saber se estava acima de um limite permitido.

Nesta técnica, a pilha de decisão é organizada de acordo com a vazão total da rede após a retirada de cada RRH, a vazão total é calculada somando as vazões máximas de todos os usuários. A RRH que gera o menor impacto ao ser retirada (rede com maior vazão total) fica no topo da pilha, o restante é ordenado de forma decrescente, ficando na base a RRH que gera maior impacto na rede.

IV. ESTUDO DO CUSTO DA ARQUITETURA C-RAN

Diversos trabalhos apontam que a arquitetura C-RAN trará diversos benefícios se for implantada no futuro. O seu gerenciamento centralizado e a abordagem de computação em nuvem conseguirá melhorar tanto a capacidade como a qualidade da rede. A única questão que faz com que esta tecnologia ainda não tenha sido implantada é o custo de implantação, que é considerado bastante alto se comparado com o modelo distribuído (D-RAN) utilizado atualmente. Nesse sentido, Checko *et al.* [12] realizou um estudo comparativo entre as duas arquiteturas, em que considerava diversas estações base que precisavam ser conectadas ao módulo de processamento de dados, no modelo D-RAN não se faz necessário o uso de cabeamento, pois tanto o módulo de rádio (RRH) como a BBU (*BaseBand Unit*), que é o módulo processador, estão muito próximos e podem se comunicar por tecnologias sem fio. Para realizar a conexão no modelo C-RAN é necessário criar um fronthaul robusto, com conexões de fibra ótica.

Outra diferença está relacionada a quantidade de BBUs necessárias para atender a rede, no modelo D-RAN cada RRH precisa de uma BBU, mas no modelo distribuído uma BBU pode atender até 70% da capacidade máxima de uma RRH. Dessa forma, várias RRHs podem ser atendidas por apenas uma BBU, desde que esse limite não seja ultrapassado.

Em seu trabalho Checko *et al.* não considera a distribuição de usuários para a alocação de antenas, fato que contrasta com o trabalho presente e pode ser visto como uma evolução. O cálculo do custo, nessa abordagem, é feito de acordo com a equação 9:

$$TCO = BBU_c * N_{BBUs} + FC_{Km} * N_{KmF} * \frac{1}{CostFactor} \quad (9)$$

Em que:

- BBU_c = Custo para implantar uma BBU;
- N_{BBUs} = Número de BBUs necessárias para servir a rede;
- FC_{Km} = Custo para implantar um quilômetro de fibra;
- N_{KmF} = O comprimento, em quilômetros, de fibra necessário para conectar as RRHs ao centro de BBUs;
- $CostFactor$ = Um fator que indica quantas vezes o valor de uma BBU é maior que um quilômetro de fibra.

A variável $CostFactor$ possui um importante papel na equação, enquanto o custo da BBU e o quilômetro de fibra são setados com valores iguais, o $CostFactor$ é que irá indicar

quão mais caro é uma BBU se comparado com um quilômetro de fibra. O valor é variado de 1 a 15 para ser possível saber em quais situações, do ponto de vista monetário, é mais vantajoso implantar o modelo C-RAN em relação ao D-RAN.

V. RESULTADOS

Os resultados são divididos em duas abordagens: Técnicas para organização de HetNets e comparação entre os modelos C-RAN/D-RAN.

A. HetNets

Os resultados serão divididos pelo número de usuários, assim serão feitas análises para 300 e 600 usuários separadamente. Primeiramente foram analisados os resultados com 300 usuários. As métricas utilizadas para a avaliação de desempenho foram: diminuição de RRHs, custo de implantação e vazão total da rede. Lembrando que o número de antenas candidatas eram 169 e que foram realizadas 30 repetições, assim os resultados apresentados na tabela IV são as médias calculadas.

Foi possível perceber que, com 300 usuários, cada técnica cumpriu o seu papel: A técnica baseada nos usuários possuiu a melhor performance e obteve a maior diminuição média de RRHs implantadas (66%). A técnica baseada no custo economizou mais recursos financeiros, devido ao melhor aproveitamento do trenching necessário para a interligação da rede. Enquanto que a técnica baseada na vazão obteve a maior vazão média, tais valores podem ser vistos na tabela IV.

TABELA IV

AValiação entre as três técnicas de *HetNets* (300 usuários)

Métrica	Técnica Usuários	Técnica Custo	Técnica Vazão
RRHs	66%	65%	65%
Custo	4.804.000	4.696.000	4.999.000
Vazão	4,06Gbps	4,46Gbps	4,81Gbps

Analisando os dados apresentados, infere-se que a técnica baseada no custo economizou 2% se comparado com a técnica de usuários e 6% se comparado com a técnica baseada na vazão, números que a princípio não revelam uma economia muito grande, mas se relacionados com projetos de grande custo monetário é possível economizar até milhões de dólares. Em relação à vazão total da rede, a técnica baseada na vazão obteve 18% a mais de vazão máxima do que a técnica baseada nos usuários e 8% a mais que a técnica baseada no custo, mostrando a sua capacidade de aproveitar a rede de forma satisfatória.

Com o aumento do número de usuários, os resultados foram diferentes do esperado, mostrando que esta variação possui uma grande influência na avaliação de desempenho. Os valores da análise com 600 usuários podem ser vistos na tabela V.

Analisando primeiramente os resultados da métrica de diminuição da quantidade de RRHs, é possível avaliar que a técnica de usuários novamente conseguiu ser a melhor, conseguindo reduzir 58% (6% a mais que a técnica de custo e

TABELA V

AValiação entre as três técnicas de *HetNets* (600 usuários)

Métrica	Técnica Usuários	Técnica Custo	Técnica Vazão
RRHs	58%	52%	56%
Custo	5.479.000	5.668.000	5.617.000
Vazão	4,77Gbps	6,03Gbps	5,75Gbps

2% a mais que a técnica da vazão). Na avaliação do custo de implantação, a técnica baseada nos usuários foi novamente superior, demonstrando o seu potencial em grandes redes, economizou 4% a mais que a técnica baseada no custo e 2,5% a mais que a técnica baseada na vazão. A técnica baseada no custo obteve o pior desempenho, o que pode ser explicado pelo alto número de RRHs necessárias para a implantação e consequentemente um maior gasto com *trenching* e fibra ótica para a interligação das estações base com os pontos de fibra.

Por último, em relação à métrica vazão total da rede, a técnica baseada no custo de implantação obteve o melhor resultado. Algo que era esperado, devido ao alto número de RRHs implantadas, assim é possível inferir que a técnica baseada no custo obteve 26,3% a mais de vazão que a técnica baseada nos usuários e 4,9% a mais que a técnica baseada na vazão total da rede.

B. C-RAN/D-RAN

A comparação entre o modelo C-RAN e D-RAN também foi realizada em cenários com 300 e 600 usuários. A organização da rede, que as três técnicas de *HetNets* apresentadas criaram, serviram como entrada para o cálculo comparativo entre as arquiteturas. Foi utilizada uma das 30 repetições de cada cenário (300 e 600 usuários), a escolha foi feita levando em consideração a iteração que obteve o maior custo de implantação.

Primeiramente, analisando o cenário com 300 usuários, é possível perceber que na figura 1 existem retas, que indicam o valor do *Total Cost Of Ownership* (TCO) relacionado ao modelo D-RAN, que não varia, pois nunca será necessário fibra para a conexão entre RRH/BBU e o número necessário de BBUs é sempre o mesmo (uma para cada RRH). As curvas representam o TCO para o modelo C-RAN, é perceptível a diminuição deste valor quando a variável *CostFactor* é aumentada. Ainda analisando as figuras temos pontos de encontro entre os gráficos, indicando as situações em que o valor de custo entre as duas arquiteturas são praticamente iguais. Neste sentido e de acordo com a figura 1, afirma-se que a partir do valor do *CostFactor* igual a 6 é possível utilizar o modelo C-RAN, com todas as suas vantagens, sem a necessidade de maiores gastos com a rede.

A figura 2 apresenta os resultados encontrados com 600 usuários, a análise é feita da mesma forma como aconteceu com 300 usuários. O que chama atenção são dois fatores, primeiramente o valor do modelo C-RAN para a técnica de custo, começando com um valor bastante alto (se comparado com as duas outras técnicas). Esse valor se deve ao fato de existirem muitas RRHs implantadas utilizando a técnica

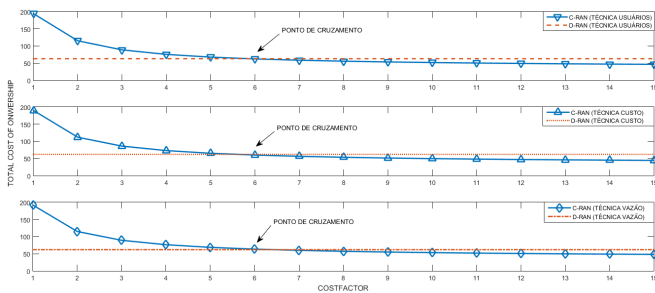


Fig. 1. TCO utilizando as arquiteturas C-RAN e D-RAN (300 usuários)

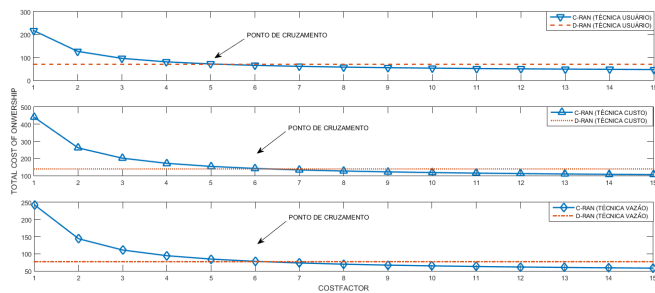


Fig. 2. TCO utilizando as arquiteturas C-RAN e D-RAN (600 usuários)

de custo, necessitando, conseqüentemente, de muitas BBUs e fibra ótica para realizar o *fronthaul*. O segundo fator está relacionado ao ponto de cruzamento com a utilização da técnica baseada nos usuários, em que se encontra com o valor do *CostFactor* igual a 5, o que significa dizer que com a utilização dessa técnica a abordagem C-RAN é menos custosa do que se fosse utilizada alguma das outras duas.

VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Através dos resultados apresentados foi possível quantificar o custo total de cada técnica de implantação. Primeiramente, avaliando a organização realizada pelas técnicas de *HetNets*, percebeu-se que em um primeiro momento (300 usuários) cada técnica cumpre o seu papel e consegue se destacar na métrica na qual foi baseada. Em contrapartida, quando são analisados os resultados com 600 UEs, a técnica baseada nos usuários ganha em dois quesitos e se torna a mais indicada se for levado em consideração o custo de implantação. Por outro lado, a técnica baseada na vazão obteve resultados intermediários e também pode ser considerada dependendo do que o cliente desejar para a rede.

Os resultados apresentados na comparação entre C-RAN/D-RAN mostram que, na maioria dos casos, é necessário que o custo de uma BBU seja seis vezes maior que o de um quilômetro de fibra para que seja monetariamente viável a utilização da C-RAN. Porém, caso exista um capital maior para investimento, os casos em que a BBU é cinco ou quatro vezes maior também podem ser considerados.

Os resultados foram satisfatórios, conseguindo mostrar as diversas situações nas quais cada tecnologia se adequa, tanto em relação às técnicas para *HetNets* quanto para as arquiteturas C-RAN/D-RAN. Adicionalmente, propostas para possíveis

contribuições e evoluções para o trabalho são apresentadas a seguir:

- Estudar novas formas de implantação de *HetNets*, que se baseiem em outro tipo de parâmetro ou com o mesmo embasamento apresentado neste trabalho, mas com algoritmos diferentes;
- Pesquisar sobre como diminuir o custo da arquitetura centralizada, visto que essa é a sua principal desvantagem;
- Aumentar o cenário, tanto em extensão quanto na questão da densificação de usuários;
- Trabalhar além da modelagem analítica, a simulação com algum *software* de simulação confiável.

Estas evoluções foram pensadas para trabalhos futuros, com intuito de apresentar resultados com maiores contribuições para a comunidade científica.

REFERÊNCIAS

- [1] Cisco VNI Forecast. "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2015?2020", 2016.
- [2] Elsawy H, Hossain E. "HetNets with Cognitive Small Cells: User Offloading and Distributed Channel Access Techniques", IEEE Communications Magazine, vol. 51, pp. 28-36, 2013.
- [3] Yang C, Li J, Sheng M, Liu Q. "Green heterogeneous networks: a cognitive radio idea", IET Communications, vol. 6, pp. 1952 - 1959, 2012.
- [4] IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group. "Channel Models for Fixed Wireless Applications", IEEE Call for Contributions, 2001.
- [5] Sulyman A I, Alwarafy A, MacCartney G R, Rappaport T S, Alsanie A. "Directional Radio Propagation Path Loss Models for Millimeter-Wave Wireless Networks in the 28-, 60-, and 73-GHz Bands". IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, pp. 6939 - 6947, 2016.
- [6] El-Beaino W, El-Hajj A M, Dawy Z. "On Radio Network Planning for Next Generation 5G Networks: A Case Study". IEEE Communications, Signal Processing, and their Applications, 2015.
- [7] Fushiki M, Akimoto Y, Konishi S. "Analysis on the Effect of Transmission Power Applied to Small Cells in LTE-Advanced Downlink". IEEE Intelligent Signal Processing and Communications Systems, 2013.
- [8] Ku G, Walsh J M. "Resource Allocation and Link Adaptation in LTE and LTE Advanced: A Tutorial". IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, pp. 1605 - 1633, 2015.
- [9] Ranaweera C, Lim C, Nirmalathas A. "Cost-Optimal Placement and Backhauling of Small-Cell Networks". Journal of Lightwave Technology, vol. 33, pp. 3850-3857, 2015.
- [10] Araújo, W. V. "Análise de Heurísticas de Implantação de HetNets Densas". Universidade Federal do Pará, 2017.
- [11] M. Fiorani, S. Tombaz, F. Farias, L. Wosinska, and P. Monti, "Joint design of radio and transport for green residential access networks". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 34, no. 4, April 2016.
- [12] Checko A, Holm H, Christiansen H. "Optimizing small cell deployment by the use of C-RANs". IEEE Proceedings of European Wireless, 2014