

Meta-heurística para Alocação de Recursos Aplicada a Redes de Acesso Centralizado

Rita de C. P. Cunha¹, Rafael F. Vieira¹, Paulo H. A. Pereira¹,
Igor W. S. Falcão¹, Daniel da S. Souza¹, Diego L. Cardoso¹

¹Instituto de Tecnologia – Universidade Federal do Pará (UFPA)
66.075.110 – Belém – PA – Brasil

{ritaporfiriocunha, fogarollirafael,
paulohenrique99.10, igorufpa2013.4}@gmail.com,
{danielssouza, diego}@ufpa.br

Abstract. *The growing demand for information access, generated by multimedia applications, is one of the challenges of the new generation of mobile networks. One of the proposed architectures to support this traffic is the Cloud Radio Access Network (C-RAN), which centralizes the processing power to solve the load unbalance, allocating resources according to the demand of the network. This paper proposes an optimized resource allocation model that performs load balancing on BBUs (Baseband Units). To this end, a DPSO (Discrete Particle Swarm Optimization) was developed to optimize the proposed objective function. Results point to superior performance of this objective function in comparison to the proposed benchmarking, both in high and low traffic densities.*

Keywords: 5G, C-RAN, Resource Allocation, DPSO.

Resumo. *O crescimento da demanda por acesso à informação, gerado por aplicativos multimídia, é um dos desafios da nova geração de redes móveis. Uma das arquiteturas propostas para suportar esse tráfego é a Cloud Radio Access Network (C-RAN), a qual centraliza o poder de processamento para resolver o desbalanceamento de carga, alocando recursos de acordo com a demanda da rede. Este artigo propõe um modelo de alocação de recursos otimizado que realiza o balanceamento de carga em BBUs (Baseband Units). Para este fim, foi desenvolvido um DPSO (Discrete Particle Swarm Optimization) que otimiza a função objetivo proposta. Resultados apontam desempenho superior desta função objetivo em comparação ao benchmarking proposto, tanto em cenários de alta, como em baixa densidade de tráfego.*

Palavras-Chaves: 5G, C-RAN, Alocação de Recursos, DPSO.

1. Introdução

A comunicação móvel está em constante transformação, buscando atender as diversas necessidades do mercado ao longo dos anos. De acordo com a [Cisco 2017], o tráfego de dados móveis aumentará em sete vezes até 2021, crescendo a uma taxa de 46% entre os anos de 2016 e 2021, chegando a 8,3 *Exabytes* por mês até 2021. Um dos desafios para a próxima geração de redes móveis é o aumento significativo do volume de dados móveis

impulsionado, principalmente, pelos serviços e aplicações multimídias e pelo crescente número de dispositivos que se conectam na rede [Al-Falahy and Alani 2017].

A quinta geração (5G) esta sendo proposta visando atender requisitos cada vez mais estritos dos usuários, tais como latências de até 1ms e baixo consumo de energia. Uma das arquiteturas proposta para suprir a demanda que surgem com o 5G é a C-RAN (*Cloud Radio Access Network*), que propõe o compartilhamento de recursos enquanto aborda questões de escalabilidade de processamento [Gupta and Jha 2015]. A C-RAN consiste em três componentes principais [Pan et al. 2018]:

- BBU (*Baseband Unit*): hardware de processamento responsável pelas técnicas de computação em nuvem;
- RRH (*Radio Remote Head*): hardware que possui baixo custo e baixa potência, e é responsável pelas propriedades de rádio;
- Links de *fronthaul*: conexão RRHs-BBUs.

A natureza inconstante da vazão da rede dá-se devido a movimentação dos usuários, conhecido como efeito maré. [Yan et al. 2018]. Este fenômeno afeta as redes, que necessitam ter seus recursos orquestrados para atender esta demanda tão dinâmica, caso esta tarefa seja negligenciada, gera-se um desbalanceamento na rede, e com isso os recursos da rede são mal alocados [Chen et al. 2018]. A arquitetura centralizada resolve este problema, pois tem-se uma visão global da rede, além da possibilidade de orquestração dos recursos, tal como a alteração dos links lógicos entre BBUs e RRHs, balanceando assim os recursos de Base Band. Quando os recursos estão subutilizados durante situações de tráfego desequilibrado, usuários podem ser bloqueados. Logo, é crucial alcançar a auto-otimização na rede (SON - *Self Organising Networks*) [Khan et al. 2018].

O balanceamento de carga e a escalabilidade de recursos têm sido bastante explorados, por se tratarem de fatores significativos para a redução de custos e o aumento do QoS. Uma abordagem para solucionar o desbalanceamento, um problema crítico em redes auto-organizáveis, é através da otimização intercelular [Network 2011]. A arquitetura SON centralizada é melhor gerenciável com relação à implementação de algoritmos SON, permitindo que estes otimizem conjuntamente vários parâmetros de rede, possibilitando portanto, um sistema globalmente ajustável [Khan et al. 2018].

Neste contexto, este artigo propõe um modelo de alocação de recursos, com o mapeamento BBU-RRH, visando a otimização do balanceamento da carga nas BBUs. É utilizado um indicador de performance (KPI - *Key Performance Indicator*) para avaliar o nível de balanceamento, desta forma, busca-se equilibrar a carga da rede nos recursos de processamento através do DPSO (*Discrete Particle Swarm Optimization*). São utilizadas três funções objetivos, obtidas na literatura, como *benchmark*. As funções objetivo buscam equilibrar a carga da rede nas BBUs deixando o uso dos recursos equilibrados.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira: A Seção 2 apresenta a C-RAN e as propostas desta tecnologia. A Seção 3 discorre acerca do conceito de Otimização Bio-Inspirada e a aplicação neste trabalho. A Seção 4 apresenta os trabalhos correlatos. Na Seção 5 são descritos os modelos elaborados como proposta deste artigo. A Seção 6 contém os resultados e a discussão a respeito dos modelos desenvolvidos, finalmente, a Seção 7 contém as conclusões e trabalhos prospectivos.

2. Cloud Radio Access Network

Em contrapartida às alterações efetivadas nas gerações anteriores, o 5G tem como principal função ser uma proposta de rede mais heterogênea, permitindo uma mudança de paradigma nos serviços oferecidos. À medida que as tecnologias sem fio estão crescendo em relação às taxas de dados, mobilidade, cobertura e eficiência espectral, novas oportunidades são criadas, mas consequentemente, novos desafios surgem. As novas tecnologias e requisitos direcionam os desafios ao desenvolvimento da 5G. Sendo a centralização um dos principais objetivos, porque o processamento e a gestão precisam ser flexíveis e adaptados aos requisitos reais de serviço [Gupta and Jha 2015]. Isso levará a uma atualização da rede descentralizada de hoje, para a rede totalmente centralizada.

Na arquitetura C-RAN, as estações base são deslocadas para um escritório central (*Central Office - CO*) onde é executado o compartilhamento de recursos em uma *BBU Pool*, conjunto de BBU centralizadas, de forma que um grupo de RRH possa ser atendido. A interconexão entre a *BBU Pool* e as RRHs são feitas por links digitais de alta velocidade para a transmissão de amostras de (I/Q) digitalizadas [Pfeiffer 2015]. A rede centralizada é composta por *fronthaul* e *backhaul*, onde o primeiro é a ligação entre os RRHs e as BBUs, o segundo é a estrutura que utiliza fibra como canal de retorno e comporta as conexões de rede entre as estações de base e a rede principal, ou *core network* [Bartelt et al. 2015][Schulz et al. 2016]. O conceito de C-RAN foi promovido pelo *China Mobile Research Institute*, este destaca que a arquitetura C-RAN possui benefícios significativos nas seguintes áreas-chave [Chen and Duan 2011]:

- Eficiência energética: o consumo de energia do sistemas de resfriamento e outros equipamentos podem ser amplamente reduzidos devido à consolidação da BBU.
- Capacidade: tecnologias de comunicação sem fio e transmissoras mais avançadas, como o processamento cooperativo multiponto (*Coordinated Multipoint - CoMP*), podem ser implementadas usando a infraestrutura C-RAN.
- Deslocamento de tráfego: *BBU pool* pode servir como ponto de partida natural para descarregar o tráfego para diferentes nós de rede, bem como para acesso de rádio em diferente tecnologias.

Um ponto a ser destacado são as despesas de bens de capital e despesas operacionais, pois o agrupamento de BBUs permite gerenciamento e centralização, levando a economia de custos no aluguel de sites, operação, manutenção, pontos esses que serão o foco do trabalho. O custo de implantação de *fronthaul* e *backhaul* de redes tradicionais é muito alto, logo a questão do custo-benefício das redes C-RAN pode ser considerada um fator primordial para a implantação da nova geração de redes móveis [Souza et al. 2017], proporcionando uma redução dos custos de infraestrutura.

Essa economia é ocasionada pela centralização da arquitetura, tendo, em comparação às redes tradicionais, a eliminação de alguns equipamentos e o compartilhamento, como é o caso das BBUs, pois em uma rede tradicional é necessária uma BBU para cada estação base, porém, na arquitetura centralizada, várias RRHs podem ser servidas por uma BBU Pool, se o limite de processamento desta não for ultrapassado. Segundo [Ericsson 2014] uma BBU pode atender seis RRHs. Por esta razão, o conceito de C-RAN é uma forma viável de reduzir as despesas de capital e de operação das operadoras.

Para a aplicação do C-RAN, se faz necessário um link com alta taxa de transmissão e baixa latência. A maior diferença entre RRHs implantadas na C-RAN, em comparação a

soluções anteriores é que o sinal percorre muitos quilômetros, enquanto na última arquitetura, essa distância é menor, geralmente até alguns quilômetros [Checko et al. 2014]. Portanto, o atraso adicional causado pelo aumento da distância de transmissão precisa ser monitorado. O mais provável é a utilização de links cabeados como de fibra ótica mas, padrões wireless também podem ser utilizados, desde que alcancem os requisitos necessários para o *fronthaul*.

O segmento de *fronthaul* da rede móvel utiliza protocolos específicos para comunicação, os mais analisados e conceituados pela literatura são o *Common Public Radio Interface* (CPRI), o *Open Base Station Architecture Initiative* (OBSAI) e o *Open Radio Interface* (ORI). Estes protocolos asseguram a transmissão dos componentes dos sinais em fase e em quadratura (I/Q), controle e sincronismo entre as unidades de rádio [Checko et al. 2014]. Dentre as vantagens desta arquitetura destacam-se: a melhor utilização dos recursos, gerência e operação das redes, aumento de cooperação entre as estações de base, possibilidade de atendimento de cargas dinâmicas com maior eficiência, economia no consumo de energia, virtualização, entre outras.

O comprimento do *fronthaul* é limitado por atraso de propagação [Al-obaidi et al. 2015]. O procedimento requer mensagens rápidas de ACK / NACK, o que limita o comprimento da fibra entre o pool BBU e RRH a 20-40 km dependendo do atraso de processamento [Chen and Duan 2011]. A interconexão entre BBUs necessita de baixa latência, alta velocidade, alta confiabilidade e transmissão em tempo real de 10 Gbps. O planejamento dinâmico do uso de recursos da operadora implementado no BBU *pool* pode aumentar a redundância do seu uso [Checko et al. 2014].

Segundo relatório da China Mobile [Chen and Duan 2011] o *BBU Pool* deve ser capaz de suportar 100 estações base em uma rede urbana de tamanho médio (cobertura 5x5 km e 1000 estações base em um perímetro de 15x15 km). A virtualização dos recursos da estação base é necessária para ocultar as características físicas da BBU *pool* e ativar a alocação dinâmica de recursos, pois o agrupamento ideal de recursos do BBU é necessário no C-RAN. No trabalho de [Bhaumik et al. 2012] é proposto um esquema de gerenciamento dos recursos da BBU *pool* para minimizar o número de recursos computacionais necessários. Outros trabalhos abordam como primordial o estudo da alocação e gerenciamento da BBU *pool* no cenário das redes centralizadas, contudo não é o foco deste trabalho.

3. Otimização Bio-inspirada

A computação bio-inspirada pode ser definida como sendo a convergência da Ciência da Computação, Biologia e Matemática para representar fenômenos estocásticos observados na natureza [De Castro and Von Zuben 2005]. Neste contexto, este trabalho explora a computação bio-inspirada através do emprego do DPSO para otimização do balanceamento de cargas em C-RAN. Em [da Paixão et al. 2018] o algoritmo se mostrou eficiente na otimização BBU-RRH, constatando ser uma opção para cenários centralizados.

No algoritmo PSO é simulado o comportamento das aves, onde cada ave fará sua contribuição no processo de busca, dependendo de sua *fitness*, ou aptidão, sendo esta a métrica para avaliação do desempenho da solução, de modo que os indivíduos com maior aptidão são as melhores soluções da população. A aptidão geral dos indivíduos é usada para a identificação do centro de alimentos, que é considerado como a melhor estimativa

global. A implementação da otimização de enxame de partículas é detalhada da seguinte forma:

- Passo 01: Inicialização dos parâmetros (I_{max}), número de partículas (M), velocidades iniciais das partículas (V) e as posições iniciais das partículas (X);
- Passo 02: Repetir o Passo 03 ao Passo 07 de $i = 1$ para I_{max} ;
- Passo 03: Calcular o *fitness* para cada partícula;
- Passo 04: Atualizar a melhor posição da partícula P_{id}^t ;
- Passo 05: Atualizar a melhor posição para todo o enxame P_{gd}^t ;
- Passo 06: Atualizar a posição de X e a velocidade V ;
- Passo 07: Verificar se o critério de parada foi satisfeito.

No PSO, um indivíduo é usado para representar a potencial solução do problema a ser otimizado. A posição e a velocidade em cada dimensão são atualizadas usando as duas equações a seguir:

$$v_{id}^{t+1} = wv_{id}^t + c_1rand_1(P_{1d}^t - x_{1d}^t) + c_2rand_2(P_{gd}^t - x_{id}^t) \quad (1)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1}, \quad (2)$$

onde d denota uma dimensão da partícula, w representa o peso inicial, e c_1, c_2 são as variáveis de aceleração uniformemente distribuída (0,1). Em geral, para cada $d \in 1, 2 \dots, D$, os valores de v_{id}^t são restritos na faixa de $(-V_{max}, V_{max})$, e x_{id}^t entre a faixa de valores (X_{min}, X_{max}) . Os efeitos comuns entre as partículas levam ao movimento, uma vez que elas sempre tentam ir para a melhor posição. A equação de atualização da velocidade pode ser dividida em três partes. A primeira é a inércia, momento que reflete o hábito principal das partículas. A segunda é a cognição, que reflete a memória das partículas e denota a tendência de se aproximar da melhor posição histórica da partícula. A última é a social, que reflete a colaboração entre as partículas e compartilhamento, denotando a melhor a melhor posição.

4. Trabalhos Correlatos

O C-RAN é um paradigma promissor para redução de gastos em bens de capitais e operacionais, bem como eficiência energética e espectral e aproveitamento dos recursos computacionais [Wu et al. 2015]. Um algoritmo para diferenciação de células (CDI - *Cell Differentiation and Integration*) e um mapeamento dinâmico de BBU-RRH para maximizar o QoS é proposto em [Khan et al. 2018]. É proposto um método de previsão de carga nas RRHs, possibilitando um mapeamento de recursos de modo proativo, tornando a rede mais responsiva e adaptativa. A otimização do balanceamento de carga é realizada através de um DPSO e comparada a um Algoritmo Genético (AG) e Busca Exaustiva em QoS, Índice de Equidade, Vazão e Índice de Handover.

Em [Yao and Ansari 2018], os autores otimizam o mapeamento BBU-RRH e a associação de usuários com o objetivo de minimizar o custo incorrido pela conta de energia das RRHs e aluguéis das BBUs sob a restrição de manter os padrões de QoS dos usuários, que é formulado através de programação linear (ILP). Os resultados ótimos são comparados com um algoritmo proposto pelos autores, que é baseado em um método de relaxamento do ILP. Os resultados se aproximam da solução ótima encontrada pelo ILP,

reduzindo os custos de operação do sistema, como os autores demonstram ao variar a latência mínima aceitável para os clientes da rede e a taxa de chegadas de clientes.

Os autores, então, formulam a virtualização como um problema de empacotamento, onde cada BBU é um pacote com recursos computacionais finitos e em seguida, desenvolvem uma otimização utilizando a heurística do recozimento simulado. Este trabalho evidencia a aplicabilidade de técnicas de Inteligência Computacional para otimizar o balanceamento de carga na BBU Pool, bem como a importância de gerar dinamicamente novas alocações para adequar a rede às variações nas cargas ao longo do dia (efeito de maré). No entanto, este não leva em consideração prover QoS mínimo a usuários individualmente e não trata seus resultados em métricas mais comparáveis à realidade, limitando-se a capacidade computacional da BBU em termos de milhões de operações por intervalo de tempo (*million operations per timeslot* - MOPTS).

Os autores em [Chen et al. 2018], propõem um esquema de mapeamento dinâmico BBU-RRH, usando uma abordagem de empréstimo, para alocar dinamicamente os recursos para RRHs de maneira inteligente e eficiente. Com o gerenciamento centralizado, o grupo menos ocupado empresta recursos para o grupo mais ocupado. Os resultados mostram que o mecanismo proposto reduz significativamente o desperdício do uso de recursos e melhora o rendimento da rede. Já em [da Paixão et al. 2018], o mapeamento BBU-RRH é otimizado visando o balanceamento da carga e a minimização do número de chamadas bloqueadas, maximizando o QoS. O problema é formulado através do PSO.

Um modelo geral de agendamento de usuário para a borda da rede para C-RAN é proposto em [Duan et al. 2016], aproveitando os recursos compartilhados na BBU *pool* com um controlador para implementar o seu gerenciamento. Esse controlador visa resolver o problema de balanceamento e estabelecer um *link* de acordo com o atendimento ou não dos usuários. Já em [Boulos et al. 2015], os autores formulam o mapeamento BBU-RRH, a fim de melhorar a utilização dos recursos de rádio e consumo de energia. Os autores conseguem fornecer o mesmo nível de QoS, expresso como o número de PRBs (*Physical Resource Block*) das RRHs, como em um cenário de mapeamento um-para-um.

O remapeamento dinâmico das conexões entre RRHs e BBUs é fortemente abordado em [Khan et al. 2017], bem como a avaliação da proximidade das RRHs para agrupá-las no mesmo setor de BBU, então, é formulado um problema de otimização para o QoS e são propostas soluções utilizando DPSO e AG, como resultado, têm-se que para redes menores, ambas as técnicas entregam performance ótima e em redes grandes, sub-ótima, corroborando a abordagem utilizando estas técnicas, no entanto, o problema de otimização foi formulado de modo diferente ao proposto neste trabalho. No trabalho é evidenciado que o DPSO entrega soluções igualmente adequadas mais rapidamente que o AG em qualquer cenário.

Os trabalhos apresentados nesta seção buscam a otimização do mapeamento BBU-RRH através de diversas técnicas e com, diferentes objetivos entre eles balanceamento de carga e eficiência energética. Este artigo propõe um esquema de mapeamento BBU-RRH dinâmico em C-RAN, utilizando o DPSO, para alcançar o balanceamento dos recursos de BBU, maximizando assim o QoS.

5. Descrição do Modelo

O desempenho da rede impacta no QoS oferecido para os usuários. Desta forma, as novas gerações de redes móveis buscam sanar os problemas que enfrentam para maximizar o QoS. Este artigo propõe um KPI para o balanceamento da carga para aumentar o desempenho das BBUs, minimizando o número de chamadas bloqueadas atendendo à QoS requerida por cada chamada, sendo este um dos KPIs utilizados. Com base no KPI, um servidor chamado “gerenciador central”, identifica a configuração BBU-RRH para equilibrar a carga na rede oferecendo, assim, um serviço de melhor qualidade (ou utilizando os recursos de forma mais eficiente). Assim, as funções objetivo (FOs) apresentadas nesse trabalho buscam maximizar o balanceamento da rede.

Sendo a configuração BBU-RRH no momento t conhecida, é possível identificar a nova configuração no momento $t + 1$, sendo este o objetivo final buscado pelas FOs. O modelo proposto consiste em 5 parâmetros e 1 variável, que definem o cenário, descritos a seguir:

- Parâmetros

R é o total de RRHs no cenário.

B é o total de BBUs no cenário.

HC_j representa a capacidade total que a BBU_j consegue processar.

X representa a média da carga total no instante t presente na rede.

C_i representa a carga da RRH_i no instante t .

- Variáveis

$A_{i,j}$ é uma variável binária, que quando igual a 1, representa que a RRH_i está sendo processada na BBU_j .

O mapeamento BBU-RRH correspondente ao período t é representado como: $S = \{Rh_1, Rh_2, \dots, Rh_i\}$, no qual $Rh_i \forall i \in R$, representa a BBU que está alocada para a RRH i . Conhecendo o vetor S , é possível encontrar a carga total sendo processada no instante t e desta forma, o novo mapeamento no instante $t + 1$ é encontrado em FOs dadas a seguir:

$$\text{Min } F1 = \sum_{j=1}^B (CB_j - HC)^2 \quad (3)$$

$$\text{Max } F2 = \frac{(\sum_{j=1}^B CB_j)^2}{B * \sum_{j=1}^B CB_j^2} \quad (4)$$

$$\text{Min } F3 = \sum_{j=1}^B (X - CB_j) \quad (5)$$

$$\text{Min } F4 = \sum_{j=1}^B (HC - CB_j) \quad (6)$$

Onde CB_j é a carga sendo processada na BBU_i , e é dada por:

$$CB_j = \sum_{i=1}^R C_i * Rh_i^t, \forall j \in B \quad (7)$$

A Eq. 3 é proposta por este trabalho, através dela é buscado o balanceamento de carga, minimizando o somatório do quadrado da diferença dado que, quanto mais desbalanceada a BBU estiver, ou seja, mais longe da média da carga da rede X , maior será o quadrado da diferença. As Eqs. 4, 5 e 6 são utilizadas como *benchmark* e apresentadas em [Khan et al. 2018], [da Paixão et al. 2018] e [Khan et al. 2015], respectivamente.

A Eq. 4 utiliza o índice de justiça proposto por Jain [Khan et al. 2018]. Este índice é um critério de desempenho utilizado em todos os esquemas de alocação de recursos, incluindo os sistemas de computadores distribuídos. O índice de justiça não possui dimensão, e pode assumir valores entre 0 e 1. As Eq. 5 e 6 são similares e buscam o balanceamento através da diferença da carga da BBU em relação a uma constante [Khan et al. 2015] e em uma variável [da Paixão et al. 2018].

As FOs garantem então, que a carga na rede seja equilibrada de forma a alcançar os melhores índices de balanceamento. Para comparação entre as FOs apresentadas, este trabalho utiliza o desvio padrão (DP), que é uma medida de dispersão em torno da média amostral, sendo assim, consideramos que quanto mais próximo de zero, melhor balanceada a rede está. O desvio padrão é calculado como:

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^B (CB_j - X)^2}{B}} \quad (8)$$

É entregue pelas FOs o melhor balanceamento da rede, entretanto, algumas restrições para o problema são apresentadas, limitando o campo de soluções viáveis para o problema, sendo atribuição da função objetivo selecionar a melhor entre as soluções viáveis. As restrições são apresentadas a seguir:

$$\sum_{i=1}^B A_{r,i} = 1. \forall r \in R \quad (9)$$

$$\sum_{r=1}^R A_{r,i} * C_r \leq HC. \forall i \in B \quad (10)$$

A Eq. 9 garante que cada RRH vai ser atendida por uma única BBU. A Eq. 10 garante que a carga da BBU não vai ser maior que sua capacidade máxima, definida por HC . Desta forma, as soluções apresentadas estarão dentro do conjunto que respeita as restrições do problema. Para buscar a melhor solução de cada FO foi utilizado o DPSO como uma meta-heurística.

6. Resultados

Para a avaliação de desempenho, foram implementados 6 cenários baseados em [Khan et al. 2018] e [Gonçalves 2018], destes foram extraídos parâmetros relacionados à caracterização do tráfego gerado por um usuário individual, ao qual é atribuído 400 *Kbps* (Kilo bit por segundo), e aos números de BBUs e RRHs, 5 e 19 unidades ativas, respectivamente, presentes no cenário.

Com o intuito de obter o desempenho da proposta em variados cenários, os parâmetros variam em número de usuários (300, 600, 900, 1200, 1500 e 1800), deste modo a gama de possíveis cenários em uma implantação real de C-RAN é bem coberta,

dados que os cenários podem representar a variação no tráfego da rede ao longo do dia, regiões densamente ou esparsamente povoadas, e vastas ou pequenas áreas. Com o objetivo de manter a confiança estatística da avaliação, foram executadas 30 iterações para todas as abordagens apresentadas em [Khan et al. 2018], [da Paixão et al. 2018], [Khan et al. 2015] e a deste trabalho.

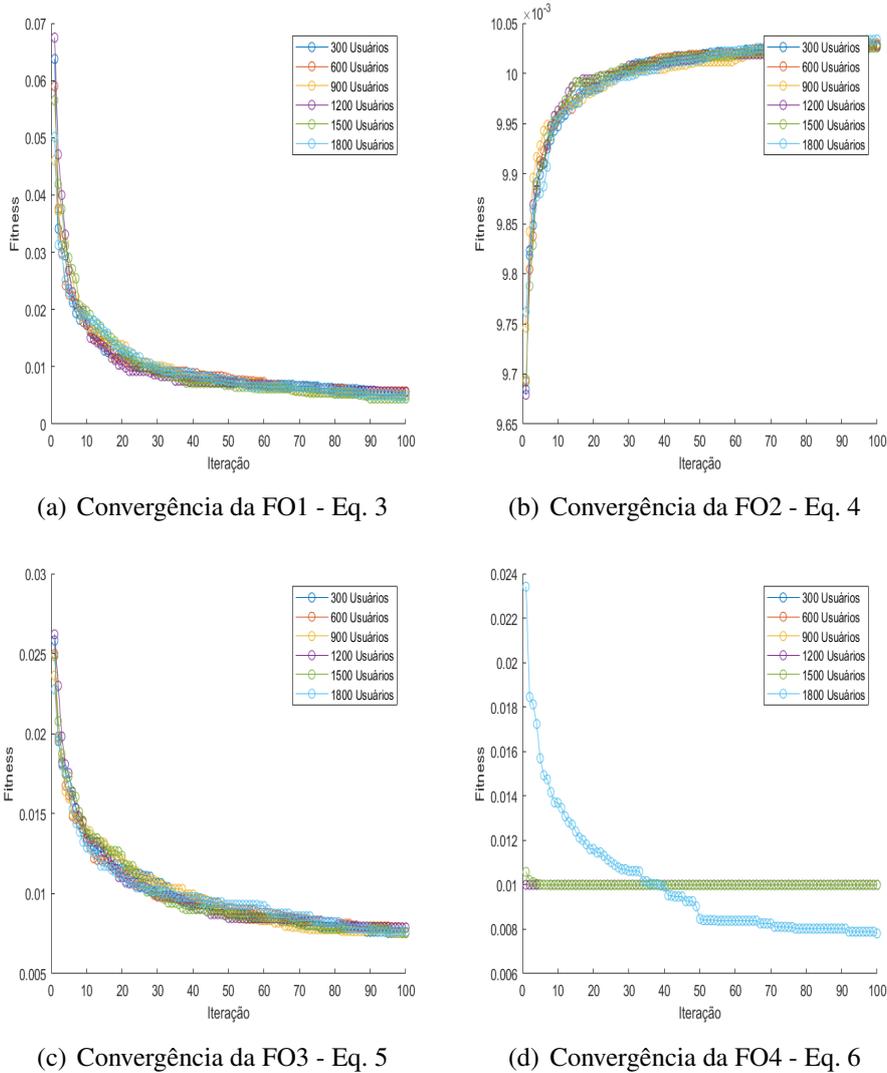


Figura 1. Convergência dos algoritmos propostos.

O algoritmo DPSO, utilizado para otimizar o balanceamento da rede, consegue convergir para uma solução de equilíbrio em todos cenários propostos. Os parâmetros do DPSO são: 30 partículas; 100 iterações como Critério de Parada; 1.8 como Constante de Aceleração Global e 1.8 como Constante de Aceleração Pessoal.

O DPSO é utilizado por ser capaz de resultar em maiores níveis de QoS com menos iterações como é comprovado em [Khan et al. 2015], [da Paixão et al. 2018] e [Khan et al. 2018]. O fato de convergir mais rápido e alcançar resultados ótimos é um fator extremamente importante em redes que se propõem em oferecer serviços de alta qualidade e em tempo real.

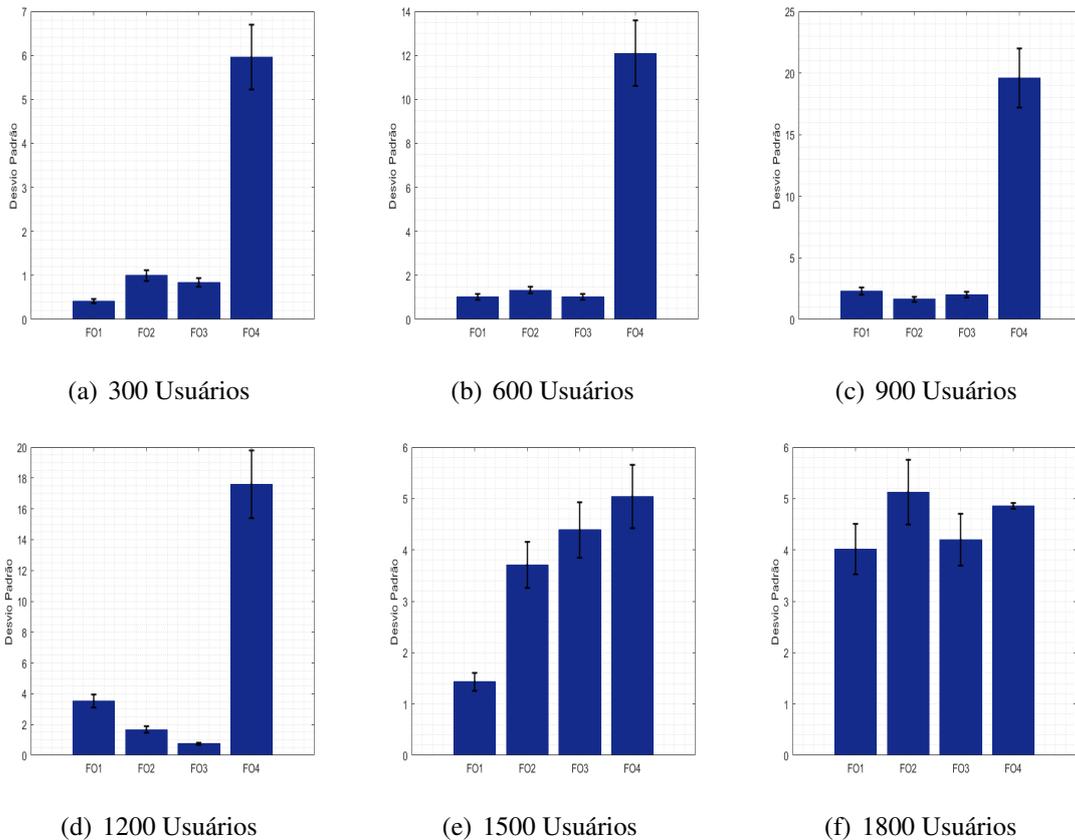


Figura 2. Nível de Balanceamento - Medida de Dispersão

Assim, para comparar as propostas de função objetivo em equidade, é utilizado o desvio padrão para medir o quão balanceadas as BBU's ficam. Através das Figuras 2(a) a 2(f) é notável que a Eq. 6 obtém os piores resultados, deixando a rede com alto desbalanceamento e tornando inevitável o desperdício de recursos e bloqueio de chamadas. Por sua vez, a função objetivo proposta, Eq. 3, obtém, em média, os melhores resultados para o balanceamento das BBU's mostrando que sua eficiência em relação às demais propostas é superior.

7. Conclusão

O rápido crescimento no número de aplicações e serviços está forçando as operadoras de redes a investirem em infraestruturas para aumentar a capacidade de atendimento, gerando mais tráfego e requisitos de QoS mais restritos, logo, tecnologias que se propõem atender os usuários conseguindo, reduzindo os custos operacionais são muito atrativas, como o C-RAN, todavia, trazem novos desafios para que ofereçam mais benefícios. Este trabalho propôs um modelo para o mapeamento BBU-RRH em C-RAN para as redes 5G, visando garantir que a eficiência energética e o QoS sejam maximizados.

Considerando que o gerenciamento de redes está associado ao controle das atividades e ao monitoramento de recursos, nos anos que segue em operação, um planejamento de operação é de extrema importância, coletando dados de gerência de redes. Resumidamente, é possível obter informações precisas através dos dados e aplicá-las às

soluções, tendo assim, uma resposta eficiente, afetando de maneira benéfica a relação custo-benefício da rede. A função proposta obteve melhores resultados no balanceamento da rede quando se tem alta variabilidade no tráfego comparado às FOs *benchmark*. A FO se mostra eficaz para o mapeamento, trazendo benefícios agregados a rede. Para trabalhos futuros, a realização de uma simulação e o aumento da complexidade do modelo são previstos.

Referências

- Al-Falahy, N. and Alani, O. Y. (2017). Technologies for 5G Networks: Challenges and Opportunities. *IT Professional*, 19(1):12–20.
- Al-obaidi, R., Checko, A., Holm, H., and Christiansen, H. (2015). Optimizing Cloud-RAN Deployments in Real-Life Scenarios using Microwave Radio. *European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, pages 159–163.
- Bartelt, J., Rost, P., Wubben, D., Lessmann, J., Melis, B., and Fettweis, G. (2015). Fronthaul and Backhaul Requirements of Flexibly Centralized Radio Access Networks. *IEEE Wireless Communications*, 22(5):105–111.
- Bhaumik, S., Chandrabose, S. P., Jataprolu, M. K., Kumar, G., Muralidhar, A., Polakos, P., Srinivasan, V., and Woo, T. (2012). CloudIQ: A Framework for Processing Base Stations in a Data Center. *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 125–136.
- Boulos, K., El Helou, M., and Lahoud, S. (2015). RRH Clustering in Cloud Radio Access Networks. In *Applied Research in Computer Science and Engineering (ICAR), 2015 International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- Checko, A., Holm, H., and Christiansen, H. (2014). Optimizing Small Cell Deployment by the use of C-RANs. *European Wireless*.
- Chen, K. and Duan, R. (2011). C-RAN the Road Towards Green RAN. *China Mobile Research Institute, white paper*, 2.
- Chen, Y.-S., Chiang, W.-L., and Shih, M.-C. (2018). A Dynamic BBU-RRH Mapping Scheme using Borrow-and-lend approach in Cloud Radio Access Networks. *IEEE Systems Journal*, 12(2):1632–1643.
- Cisco, V. (2017). Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology 2016–2021.(2017).
- da Paixão, E. A. R., Vieira, R. F., Araújo, W. V., and Cardoso, D. L. (2018). Optimized Load Balancing by Dynamic BBU-RRH Mapping in C-RAN Architecture. In *Fog and Mobile Edge Computing (FMEC), 2018 Third International Conference on*, pages 100–104. IEEE.
- De Castro, L. N. and Von Zuben, F. J. (2005). *Recent Developments in Biologically inspired Computing*. Igi Global.
- Duan, T., Zhang, M., Wang, Z., and Song, C. (2016). Inter-BBU Control Mechanism for Load Balancing in C-RAN-based BBU pool. In *Computer and Communications (ICC), 2016 2nd IEEE International Conference on*, pages 2960–2964. IEEE.

- Ericsson (2014). Connecting the dots: Small Cells Shape up for High-Performance Indoor Radio. *Ericsson Review*.
- Gonçalves, M. D. P. D. S. e. a. (2018). Abordagem de Offloading para a Alocação de Dois Níveis em uma Arquitetura H-CRAN. *VIII Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação*, pages 79–80.
- Gupta, A. and Jha, R. K. (2015). A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. *IEEE access*, 3:1206–1232.
- Khan, M., Alhumaima, R., and Al-Raweshidy, H. (2015). Quality of Service aware Dynamic BBU-RRH Mapping in Cloud Radio Access Network. In *Emerging Technologies (ICET), 2015 International Conference on*, pages 1–5. IEEE.
- Khan, M., Alhumaima, R. S., and Al-Raweshidy, H. S. (2017). Qos-Aware Dynamic RRH Allocation in a Self-Optimized Cloud Radio Access Network with RRH proximity Constraint. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 14(3):730–744.
- Khan, M., Fakhri, Z. H., and Al-Raweshidy, H. S. (2018). Semistatic Cell Differentiation and Integration with Dynamic BBU-RRH Mapping in Cloud Radio Access Network. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 15(1):289–303.
- Network, E. U. T. R. A. (2011). Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions. *Third Generation Partnership Project (3GPP) specification TR*, 36:V9.
- Pan, C., El Kashlan, M., Wang, J., Yuan, J., and Hanzo, L. (2018). User-Centric C-RAN Architecture for Ultra-Dense 5G Networks: Challenges and Methodologies. *IEEE Communications Magazine*, 56(6):14–20.
- Pfeiffer, T. (2015). Next Generation Mobile Fronthaul and Midhaul Architectures [invited]. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 7(11):B38–B45.
- Schulz, D., Jungnickel, V., Alexakis, C., Schlosser, M., Hilt, J., Paraskevopoulos, A., Grobe, L., Farkas, P., and Freund, R. (2016). Robust Optical Wireless Link for the Backhaul and Fronthaul of Small Radio cells. *Journal of Lightwave Technology*, 34(6):1523–1532.
- Souza, D. d. S., Teixeira, C. A. d. M., Seruffo, M. C. d. R., and Cardoso, D. L. (2017). Modelagem de Custo para Redes Móveis Centralizadas de Nova Geração. In *Anais do XXII Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS-SBRC 2017)*, volume 22. SBC.
- Wu, J., Zhang, Z., Hong, Y., and Wen, Y. (2015). Cloud Radio Access Network (C-RAN): a primer. *IEEE Network*, 29(1):35–41.
- Yan, B., Zhao, Y., Yu, X., Wang, W., Wu, Y., Wang, Y., and Zhang, J. (2018). Tidal-traffic-aware Routing and Spectrum Allocation in Elastic Optical Networks. *Journal of Optical Communications and Networking*, 10(11):832–842.
- Yao, J. and Ansari, N. (2018). Qos-aware Joint BBU-RRH Mapping and User Association in Cloud-RANs. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*.