

# Modelagem de Custo para Redes Móveis Centralizadas de Nova Geração

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

<sup>1</sup>Instituto de Tecnologia – Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Caixa Postal 479 – Belém – PA – Brasil

{danielssouza,seruffo,diego}@ufpa.br, carlos.mattos@itec.ufpa.br

**Abstract.** *Upon the challenges offered by the fifth generation of mobile networks, the Centralized Radio Access Network architecture is receiving increasing attention for offering support to the ultra-dense high capacity 5G networks. This paper presents a cost evaluation methodology aimed at mobile C-RAN, covering both the capital and operational expenditures in the process. The proposed model is used in a case study in which the total cost of ownership of the distributed and centralized architectures is compared. The results points out that there is an economy of 28% in the centralized scenario and highlights the most relevant aspects in the C-RAN planning.*

**Resumo.** *Diante dos desafios propostos pela quinta geração de redes móveis, a arquitetura Centralized Radio Access Network (C-RAN) vem ganhando espaço por oferecer suporte à redes ultra-densas de alta capacidade de 5G. Este trabalho propõe uma metodologia de análise de custo para C-RAN, abrangendo as despesas de implantação e de operação. O modelo proposto é utilizado em um estudo de caso em que o custo total de implementação e operação das arquiteturas distribuídas e centralizadas são comparados. Os resultados apontam uma economia de 28% nos cenários centralizados e destacam os aspectos econômicos mais relevantes no planejamento da C-RAN.*

## 1. Introdução

Em 2021, o tráfego global em redes móveis alcançará a marca de 49 exabytes mensais, cerca de meio zetabyte anual, representando um crescimento de 700% em relação ao ano de 2016 [1]. As redes celulares de quinta geração, previstas para o ano de 2020, pretendem suprir esta crescente demanda por tráfego, oferecendo não apenas maiores velocidades, mas uma arquitetura de rede mais heterogênea e uma maior integração entre a vasta gama de dispositivos conectados simultaneamente. A 5G apresenta desafios em sua concepção, quesitos como eficiência energética e econômica devem ser otimizados para que as premissas de heterogeneidade e altas velocidades possam ser alcançadas de forma viável.

Tendo em vista os requisitos da próxima geração de redes de acesso, a arquitetura *Centralized Radio Access Network* (C-RAN) propõe a centralização, compartilhamento e alocação inteligente de recursos computacionais. Aliadas a C-RAN, a 5G trás consigo diversas tecnologias que possibilitam a consolidação desta nova realidade, tais como *Ultra-dense Networks* (UDN), *Advanced Inter-cell Interference Coordination* (ICIC),

*Massive Multiple-Input Multiple-Output* e (*Massive MIMO*) [2]. Os benefícios oriundos da atualização das arquiteturas tradicionais e da implantação de C-RAN são comprovados em diversos estudos, porém a implementação de tais tecnologias ocasionam em desafios em termos de custo, eficiência energética [3] e processamento [4].

Por outro lado a introdução de C-RAN no cenário atual resulta em um impacto econômico relacionado a atualização da arquitetura das redes móveis, pois o crescente quantitativo de equipamentos de backhaul e fronthaul traz consigo novos desafios e questionamentos para as operadoras em relação às margens de lucro e viabilidade econômica das novas soluções. No estudo desenvolvido em [13] são propostas soluções para otimizar as novas implantações de C-RAN em termos de minimização do custo de capital da rede, por exemplo. Duas abordagens podem ser levadas em consideração durante o planejamento da implantação de C-RAN, a primeira consiste na migração e adaptação da infraestrutura já existente para a nova arquitetura (*Brownfield*), a abordagem considerada neste trabalho propõe a implantação completa de uma nova infraestrutura (*Greenfield*). Em [10] e [11] são apresentadas metodologias abrangentes para avaliação de TCO na implantação de redes heterogêneas, porém não aplicadas especificamente à arquiteturas centralizadas.

Com o desafio proposto às operadoras de telefonia móvel de atender a demanda futura de dados e para que o planejamento e implantação das tecnologias necessárias para a 5G seja possível, é necessária a padronização de serviços e o desenvolvimento de modelos que visem o controle de aspectos econômicos. Tendo em vista as necessidades do mercado, este trabalho propõe a modelagem de Custo Total de Propriedade para topologias C-RAN voltada à redes móveis de 5G. A metodologia desenvolvida busca analisar, coletar e identificar os fatores de custos mais elevados nos segmentos de *backhaul* e *fronthaul* e, com isso, oferecer um modelo que facilite o planejamento da implantação e operação de redes centralizadas. Como validação da metodologia desenvolvida é aplicado um estudo de caso comparativo entre as arquiteturas distribuída e centralizada, em abordagem *Greenfield*, a fim de destacar as vantagens da centralização.

O restante do artigo está estruturado da seguinte forma, na seção 2 é apresentada uma visão geral do estado-da-arte de *Centralized Radio Access Network*. Em seguida a modelagem matemática de despesas de capital e de operação são descritas na seção 3. A seção 4 apresenta um estudo de caso e os resultados obtidos. Por fim, as conclusões são expostas da seção 5.

## 2. Centralized Radio Access Network

Na arquitetura C-RAN, o hardware de processamento de *Base Band Unit* (BBU) é movido das estações de base para um local centralizado comum, servindo um grande grupo de *Remote Radio Heads* (RRHs) que não precisam de muito mais hardware para operação, apenas a RF eletrônica [5]. A arquitetura de BBUs centralizados se comunica com as RRHs através de protocolos específicos, os mais analisados e conceituados pela literatura são o *Common Public Radio Interface* (CPRI), o *Open Base Station Architecture Initiative* (OBSAI) ou o *Open Radio Interface* (ORI), e assegura a transmissão dos componentes dos sinais em fase e em quadratura (IQ), controle e sincronismo às unidades de rádio [6].

Para aplicação do C-RAN, se faz necessário um link com alta taxa de transmissão e baixa latência. 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 entre o *fronthaul* e o *backhaul*. A Figura 1 representa os setores de *fronthaul* e *backhaul* da rede móvel. O *Fronthaul* é a ligação entre os RRHs e as BBUs [7][8]. Já a nomenclatura *backhaul*, que do mesmo modo utiliza fibra como canal de retorno, e refere-se as conexões de rede entre as estações de base e a rede principal, ou *core network* [7][8].

As redes de *fronthaul* e *backhaul* baseadas em fibra são organizadas em topologias de árvore ou em PtP. No caso de PtP, como no cenário proposto na seção IV, um terminal de linha ótica (OLT) localizado em um *Central Office* está ligado a um switch de agregação que fará a distribuição para as *BBU Pools* existentes. O *backhaul* baseado em fibra oferece capacidade praticamente ilimitada em longas distâncias. No entanto, é relativamente caro e lento para implementar em áreas onde não existe infraestrutura de fibra.

O custo de implantação de equipamentos de *fronthaul* o *backhaul* de redes tradicionais é muito alto, logo a questão custo-benefício das redes C-RAN pode ser considerada um fator primordial para a implantação da nova geração de redes móveis, proporcionando uma redução dos custos de fundação e com isso menores custos para os usuários finais. 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 necessário 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 [9] uma BBU pode atender apenas 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.

Logo, nas redes centralizadas o aumento da distância entre *BBU Pool* e RRH leva a uma maior quantidade de cabeamento de fibra necessários no setor de *fronthaul*, o que pode traduzir-se em maiores custos de implantação para a rede de transporte. Uma modelagem de custo de implantação e operação é realizada visando um melhor planejamento para a rede móvel de arquitetura centralizada.

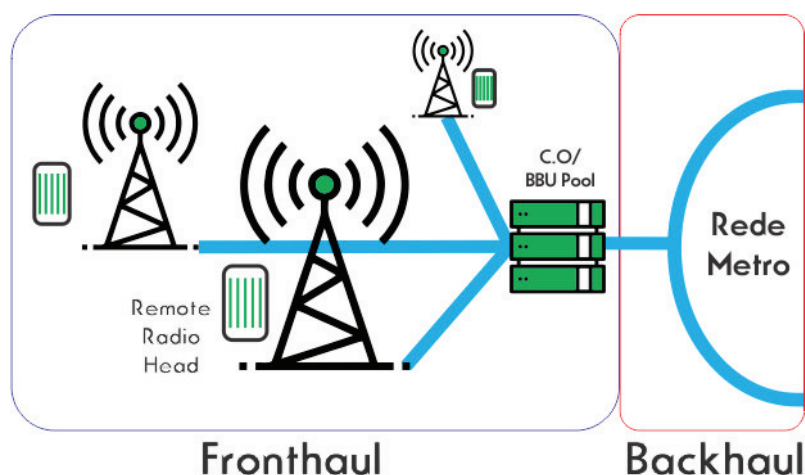


Figure 1. Cloud Radio Access Network

### 3. Modelagem de Custo

Nesta seção é apresentado um modelo de *Total Cost of Ownership* que abrange os custos de CAPEX e OPEX de uma rede móvel 5G em arquiteturas centralizadas. A formulação matemática detalha todos os investimentos relacionados a implantação da rede, incluindo também os gastos de custo operacional.

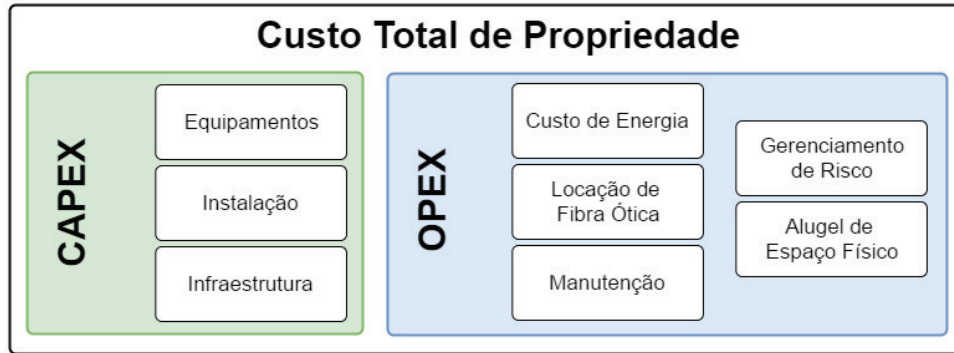


Figure 2. Custo Total de Propriedade

#### 3.1. Capital Expenditure

O CAPEX representa os custos relacionados a fase de implantação da rede, abrangendo a compra e instalação de equipamentos, além da implantação da infraestrutura.

$$CAPEX = Equip_{cost} + Inst_{cost} + Infra_{cost} \quad (1)$$

##### 3.1.1. Equipamentos

A equação 2 representa o total de despesas relacionadas a compra dos equipamentos e componentes de *backhaul* e *fronthaul* necessários para a implantação da rede centralizada.

$$Equip_{cost} = \sum_{i=1}^n N_i^{Eq} P_i^{Eq} \quad (2)$$

Em que  $N_i^{Eq}$  e  $P_i^{Eq}$  representam cada tipo de equipamento  $i$  e seus respectivos preços. O tipo de equipamentos e sua quantidade depende especificamente da arquitetura escolhida para implantação e da tecnologia de acesso que servirá de *fronthaul*.

Finalizada a fase de compra de todos os equipamentos de *backhaul* e *fronthaul*, a equipe técnica passa a fase de instalação e testes de todos os equipamentos. O custo total para a instalação de cada equipamento em suas devidas localidades é expressa na equação 3.

$$Inst_{cost} = \sum_{i=1}^n (T_i^{InstallPort} N_i^{Ports}) N_i^{Eq} P_{tech} \quad (3)$$

Em que  $T_i^{InstallPort}$ ,  $N_i^{Ports}$ ,  $N_i^{Eq}$  e  $P_{tech}$  representam, respectivamente, o tempo em horas necessário para se instalar uma porta do equipamento  $i$ , o número de portas a

serem instaladas para o equipamento, o quantitativo de equipamentos e o salário do técnico responsável. Sendo  $i$  a representação de cada tipo de equipamento.

### 3.1.2. Infraestrutura

Abrange os investimentos relacionadas ao custo total da infraestrutura de um segmento de *fronthaul* e *backhaul* em um cenário móvel utilizando-se da fibra como tecnologia de acesso. Os segmentos de fibras são colocados dentro dos dutos que estão enterradas sob o solo (tunelamento). O custo da infraestrutura de fibra inclui todas as despesas relacionadas com a escavação de dutos, compra e implantação de cabos de fibra nos dutos. Esta despesa pode ser expressa da seguinte forma:

$$Infra_{cost} = L_{trench}P_{trench} + L_{fiber}P_{fiber} + L_{lease}P_{lease} \quad (4)$$

Em que  $L_{trench}$ ,  $P_{trench}$ ,  $L_{fiber}$  e  $P_{fiber}$  representam a distância total do tunelamento, o preço do tunelamento por quilômetro(Km), o total de fibra ótica a ser utilizado e seu preço por Km, respectivamente. As variáveis  $L_{lease}$  e  $P_{lease}$  referem-se aos gastos iniciais referentes ao aluguel da infraestrutura fibra ótica, quando necessários.

### 3.2. Operational Expenditure

Os elementos que compõem o OPEX da rede remetem ao capital necessário para manter e aprimorar os recursos previamente implementados no CAPEX. São incluídos os custos de energia, manutenção e de gerenciamento de risco, além das taxas de aluguel de fibra ótica e do espaço físico necessário para abrigar os equipamentos, demonstrado na equação 5.

$$OPEX = En_{cost} + FL_{cost} + Mt_{cost} + FM_{cost} + FS_{cost} \quad (5)$$

#### 3.2.1. Custo de Energia

O consumo de energia de uma rede móvel centralizada que utiliza fibra é obtida a partir da soma do consumo de energia de todos equipamentos nos setores de *backhaul* e *fronthaul*(*Central Office*, *Cell sites*, *BBU Pool*, etc).

$$En_{cost} = EC_{CellSite} + EC_{CO} \quad (6)$$

O cálculo de consumo de energia de um *Cell Site* ( $EC_{CellSite}$ ) é mostrado na equação 7.

$$EC_{CellSite} = \sum_{i=1}^n EC_i^{CSEquip} P_{OutdoorKwh}, \quad (7)$$

em que  $EC_i^{CSEquip}$  e  $P_{OutdoorKwh}$  representam, respectivamente, o gasto de energia em cada célula  $i$  e o preço por unidade de energia (isto é, kWh) consumida.

O custo do consumo de energia da *Central Office* ( $EC_{CO}$ ) é mostrada pela equação 8.

$$EC_{CO} = \sum_{i=1}^{N_{CO}} R \sum_{i=1}^n EC_i^{COEquip} P_{IndoorKwh}, \quad (8)$$

em que  $EC_i^{BBUPEquip}$  representa o gasto de energia de cada equipamento  $i$  alocado dentro de uma *Central Office*. O coeficiente de refrigeração ( $R$ ) é usado para contabilizar o resfriamento na *Central Office*.

### 3.2.2. Locação de Fibra Ótica

O custo de locação de fibra é expresso pela equação 9.

$$FL_{cost} = L_{lease} P_{lease} \quad (9)$$

Sobre a locação de fibras, a operadora de telefonia faz pagamento de uma taxa anual para a manutenção e reparação, além das despesas iniciais descritas na seção 3.1.2. Este custo é calculado multiplicando o comprimento total de fibras alugadas em Km ( $L_{lease}$ ) pela taxa anual de manutenção por Km ( $P_{lease}$ ).

### 3.2.3. Custo de Manutenção

Os custos de manutenção representam os gastos relacionados ao monitoramento e reparo dos equipamentos do *Central Office* e dos *Cell Sites*. Inclui-se também os custos de taxa anual para as licenças de software. Os custos relacionados a manutenção são necessários para manter o *fronthaul* e *backhaul* sempre em boas situações de operação. O custo total é calculado usando a equação 10.

$$Mt_{cost} = Mt_{CS} + Mt_{CO} + Mt_{SWL}, \quad (10)$$

em que  $Mt_{CS}$  e  $Mt_{CO}$  são os custos de manutenção dos *Cell Sites* e dos *Central Office*, respectivamente. Por fim é contabilizado a taxa anual da licenças de software ( $Mt_{SWL}$ ). A equação a seguir traz o cálculo de manutenção do *Cell Site*:

$$Mt_{CS} = P_{Tech}(RT_{CS} + 2T_{Travel}), \quad (11)$$

em que  $P_{Tech}$ ,  $RT_{CS}$  e  $T_{Travel}$  representam, respectivamente, o salário do técnico por hora, o tempo requerido para manutenção de cada *Cell Site* e o tempo de viagem para locação onde está cada *Cell Site*.

O *Central Office* é a localidade da rede em que estão localizados os equipamentos responsáveis para funcionamento da C-RAN, como por exemplo a OLT e as BBU Pools, logo os operadores consideram a necessidade de se ter várias rodadas de procedimentos de manutenção para cada *Central Office*, dependendo do número de usuários e serviços abrangidos por cada um deles. Esse cálculo de custo de manutenção é expresso da seguinte forma:

$$Mt_{CO} = RT_{COR}N_{CO}P_{Tech} + P_{Upgrade}, \quad (12)$$

em que  $RT_{COR}$ ,  $N_{CO}$  e  $P_{Upgrade}$  representam, respectivamente, o tempo necessário em homens horas para reparação de cada *Central Office* em um ano, a quantidade de *Central Office* e o custo a ser pago para atualização de hardware e para substituição de componentes, por exemplo as baterias.

### 3.2.4. Gerenciamento de Risco

O gerenciamento de riscos é referente às despesas de reparo no *fronthaul* e *backhaul* na ocorrência de falhas na rede.

$$FM_{cost} = \sum_{i=1}^n ((RT_i + 2T_{Travel})N_{Tech}P_{Tech} + P_{rp})ANF_iN_i^{Eq}, \quad (13)$$

em que  $RT_i$ ,  $N_{Tech}$  e  $P_{rp}$  representam, em ordem, o tempo de reparo cada equipamento  $i$ , o número de técnicos necessários para reparo da falha e o custo da reparação caso seja necessária a compra de um novo componente. O número médio de falhas por ano de cada tipo de componente  $i$  ( $ANF_i$ ) que pode ser calculado com base na taxa de falha do componente, que ao ser multiplicado pelo número de equipamentos do tipo  $i$  na rede ( $N_i^{Eq}$ ) resulta no número esperado de falhas do componente do tipo  $i$  durante um ano.

### 3.2.5. Aluguel de Espaço Físico

O custo de espaço ( $FS_{cost}$ ) é uma taxa de aluguel anual paga pela operadora da rede para alojar seus equipamentos, como mostrado na expressão 14:

$$FS_{cost} = FS_{CO} + FS_{CS} \quad (14)$$

A variável  $A_{Rack}$  determina o espaço necessário para um rack, levando em consideração o espaço de trabalho aceitável na frente dele para que os técnicos possam atuar no rack. O número de racks dentro de um *Central Office* é medido dividindo o número de equipamentos por *Central Office* ( $N_{Eq}^{CO}$ ) pelo número de equipamentos permitidos por rack ( $N_{Rack}^{CO}$ ).

$$FS_{CO} = (A_{Rack}(N_{Eq}^{CO}/N_{Rack}^{CO}))P_{IndoorM2} \quad (15)$$

Somado a equação anterior, temos agora a equação que calcula o custo do espaço físico para os *Cell Sites*, em que  $A_{CS}$ ,  $N_{CS}$  e  $P_{OutdoorM2}$  representam o espaço necessário para implantação de um *Cell Site*, a quantidade de *Cell Sites* e o preço do aluguel anual pago pelas operadoras de telefonia.

$$FS_{CS} = A_{CS}N_{CS}P_{OutdoorM2} \quad (16)$$

Uma vez realizada a modelagem, foi realizado um estudo de caso com o intuito de aplicar o modelo proposto em um cenário de abordagem *Greenfield*.

#### 4. Estudo de Caso

Esta seção apresenta um estudo de caso em que o modelo de TCO apresentado é aplicado ao cenário proposto para avaliar os custos de implantação e operação da rede móvel com abordagem *Greenfield*. O cenário utilizado, que abrange uma área de 15 Km<sup>2</sup>, é composto por 4 BBU Pools e 169 RRHs, sendo 70% destas localizadas em áreas residenciais e o restante em áreas comerciais, que apresentam elevados índices de tráfego [13].

A estratégia para alocação de RRHs em cenários com múltiplas BBU Pools apresentada em [13] utiliza um modelo de programação linear inteira para minimizar o CAPEX da rede. A alocação considera o limite de cada BBU Pool em termos de tamanho e carga, a máxima distância entre RRH e BBU Pool é respeitada para evitar atrasos na rede, por fim, o mesmo número de células comerciais é alocado a cada BBU Pool de modo que o ganho de multiplexação estatística seja maximizado. Diferente de [13], que utilizou de distância euclidiana para estipular as distâncias entre as localidades da rede móvel, foi utilizada a distância de Táxi, abordagem apresentada por [14] que considera apenas caminhos horizontais e verticais, retratando com fidelidade um cenário urbano real. O cenário de entrada [13] e a alocação resultante são ilustrados pela Figura 3, em que estão representadas as 4 BBU Pools e as 169 células com seus respectivos perfis de tráfego, as células de perfil comercial são destacadas das demais. A alocação das RRH's é representada de acordo com a cor de cada BBU Pool.

A interconexão do *fronthaul* é feita com fibra ótica monomodo utilizando um padrão de sinal de rádio digital sobre fibra (D-RoF), como o CPRI. Distribuições de perfis de tráfego distintas são apresentadas, isso implica na ligação da BBU Pool com o *Cell Site*, pois dependendo da carga que cada célula possui é determinado o seu processamento para a BBU Pool mais próxima e com processamento disponível para alocação. A Tabela 1 resume os parâmetros de custo utilizados para calcular o TCO de *fronthaul* e *backhaul*. A normalização dos preços utilizados foi baseada no preço do quilômetro de fibra ótica. Em casos de *CostFactor* muito baixo, mesmo que o número de BBUs necessárias seja muito menor, o comprimento de fibra a ser instalado é alto tornando a arquitetura impraticável, nestes casos a diferença entre o custo de uma BBU e um quilômetro de fibra é muito pequeno.

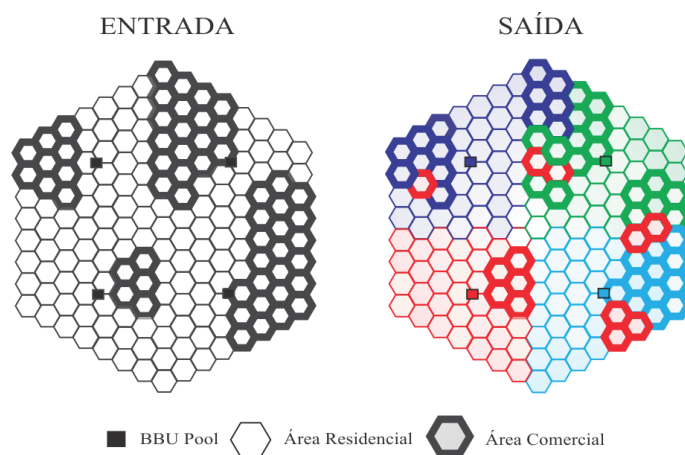


Figure 3. Cenário de entrada e alocação de recursos resultante.



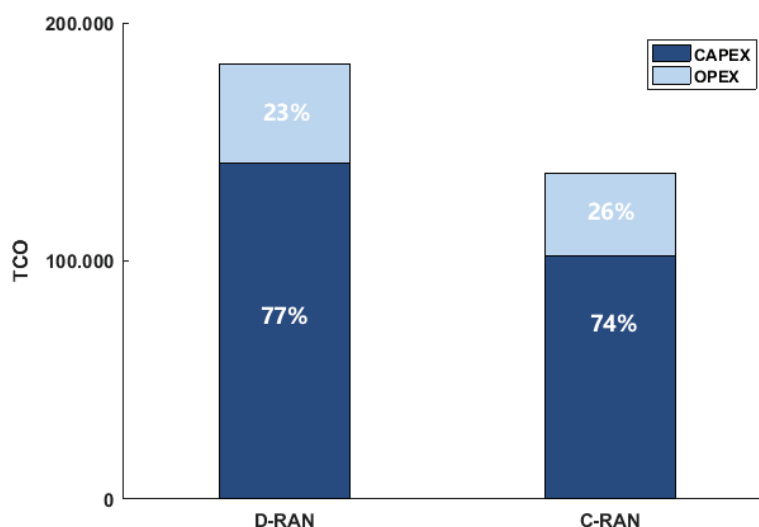
**Table 1. Valores Normalizados**

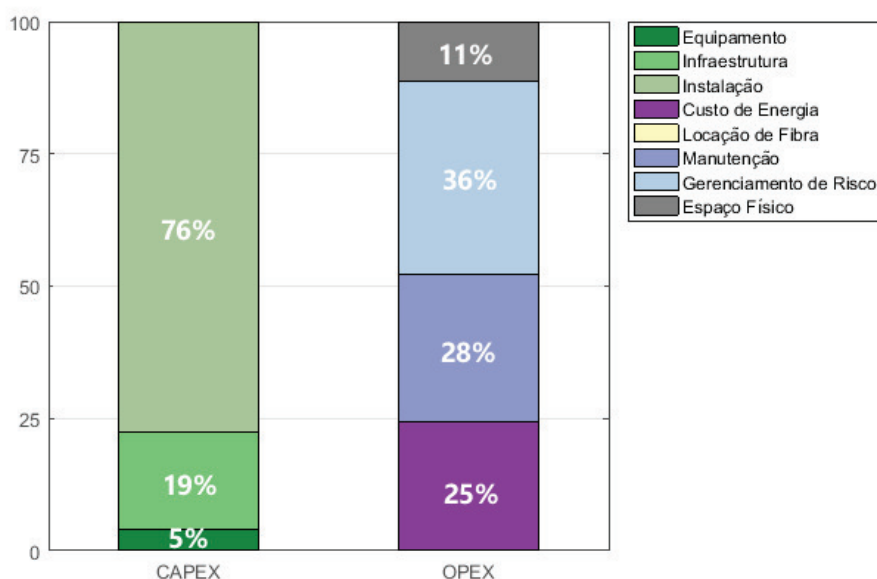
<b>Equipamento/Serviço</b>	<b>Custo Normalizado</b>
Salário do técnico (hora)	0,33
Custo de Energia (kWh)	0,000625
Fibra (Km)	1
Tunelamento (Km)	303,13
Switch de Agregação	1,88
Antena Micro Cell	12,50
<i>Radio Head Unit</i>	3,75
<i>BBU Pool</i>	838,50
OLT	18,75

Segundo os resultados obtidos a partir do modelo, o cenário utiliza 592 Km de fibra ótica. Tendo em vista que o modelo sempre prioriza a otimização do uso de recursos da *BBU Pool* e a minimização do CAPEX ao realizar a alocação de RRHs, é possível observar que certas células são alocadas a BBUs de outros setores.

Uma das alternativas do modelo proposto em [11] foi utilizado para estimação do custo total de propriedade de um cenário comparativo de arquitetura tradicional, ou seja, distribuída e de topologia pré-definida baseada em fibra. A Figura 4 apresenta uma projeção de CAPEX e OPEX em um período de 20 anos para ambas as arquiteturas. É possível observar que o cenário C-RAN apresenta uma economia de aproximadamente 28% do custo total de propriedade em relação a arquitetura distribuída.

O modelo tradicional, por ser distribuído, utiliza uma BBU para cada RRH do cenário, justificando a economia na compra de equipamentos presente na C-RAN. Em contrapartida, na arquitetura C-RAN são necessários 32 BBUs, referentes às 04 *BBU Pools* e 592 Km de fibra. Para situações em que o custo de uma BBU é expressivo, a abordagem C-RAN se torna mais atraente, pois reduz o número de BBUs necessárias em aproximadamente 81% devido ao compartilhamento de recursos computacionais.

**Figure 4. Projeção de TCO a 20 anos**



**Figure 5. Custo Total de Propriedade da C-RAN**

A Figura 5 ilustra os valores de CAPEX e OPEX do cenário de arquitetura centralizada, os valores são apresentados em uma perspectiva anual. É importante reforçar que, como já dito em [15], os custos relacionados a infraestrutura representam uma grande parte do capital inicial investido para implantação de um cenário de abordagem *Greenfield*, este fato é justificado pela necessidade de realizar o tunelamento de fibra em todas as localidades do *fronthaul*. No cenário em estudo, as despesas de infraestrutura representam 76% do valor total de CAPEX. Levando em consideração que não há locação de equipamentos, fibra ou dutos já existentes. Desta forma, os custos de compra de equipamentos e instalação representam uma fatia menor do CAPEX.

Em relação ao OPEX, é importante notar a economia nos custos de consumo de energia, manutenção da rede e aluguel de espaço físico. A diminuição no consumo de energia é justificada pela diminuição no quantitativo de equipamentos da rede, pela centralização do processamento e pelo compartilhamento de recursos computacionais na *BBU Pool*. Tais fatores também são responsáveis pela economia no setor de manutenção e gerenciamento de riscos da rede móvel, a arquitetura centralizada permite a operadora de telefonia móvel uma maior flexibilidade nesses quesitos, vantagem essa relacionada a possibilidade de melhor gerenciamento, pois grande parte dos serviços podem ser feitos remotamente, assim como o gerenciamento de riscos. A economia no aluguel de espaço físico em comparação as arquiteturas distribuídas atuais é justificada pela centralização das unidades de processamento de banda base, diminuindo consideravelmente o espaço necessário para implantação de um novo *Cell Site*.

## Conclusões

O custo para construir, operar e modernizar a RAN está se tornando cada vez mais elevado, enquanto o lucro não está crescendo na mesma proporção. Por outro lado, a proliferação de internet de banda larga móvel também apresenta uma oportunidade única para o desenvolvimento de uma arquitetura de rede evoluída que permitirá novas

aplicações e serviços e uma maior eficiência em termos de custo benefício. Para conservar o ganho e o desenvolvimento, as operadoras móveis devem encontrar soluções para reduzir custos. Com isso a implantação de arquiteturas de próxima geração de redes móveis, como o C-RAN, se faz necessária com um gerenciamento de redes bem elaborado.

Levando em consideração que o gerenciamento de redes está associado ao controle das atividades e ao monitoramento do uso dos recursos no ambiente da rede nos anos que segue em operação. Um planejamento prévio de instalação e operação é de extrema importância, coletando dados das tarefas mais básicas de gerência e operação de redes, resumidamente, com esses dados é possível: obter as informações da rede, tratá-las para diagnosticar possíveis problemas de operação e aplicar as soluções destes problemas, tendo assim uma resposta rápida e eficiente afetando a relação custo benefício de toda a rede móvel.

Este trabalho apresenta como contribuição uma modelagem de TCO para redes móveis focada em arquiteturas C-RAN. O foco do trabalho é apresentar uma solução de *backhaul* e *fronthaul*, utilizando fibra ótica como tecnologia de acesso, que possa suportar o crescente tráfego da quinta geração de redes celulares. Foi desenvolvido um estudo de caso comparativo que apresenta um cenário de abordagem *Greenfield* de topologia ponto-a-ponto com o objetivo de destacar as vantagens da arquitetura C-RAN em relação a D-RAN. Os resultados evidenciam a considerável economia, tanto em CAPEX como em OPEX, advindas da centralização do processamento de banda base e compartilhamento de recursos computacionais.

Para ampliar as contribuições apresentadas neste trabalho é possível fazer diversas modificações e evoluções. Alternar o tipo de tecnologia de acesso usado nos cenários montados, fibra ótica ou micro-ondas, a topologia da rede, além da arquitetura ponto-a-ponto usado neste trabalho, para verificar a aplicabilidade e flexibilidade da modelagem desenvolvida.

## References

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021. Cisco, 2017.
- [2] M. Jaber, M. Ali Imram, R. Tafazolli, A. Tukmanov. *5G Backhaul Challenges and Emerging Research Directions: A Survey*, IEEE Access, 2016.
- [3] S. Tombaz, B. Skubic, L. Wosinska, P. Monti. *Modelling Energy Performance of CRAN with Optical Transport in 5G Network Scenarios*, Journal of Optical Communications and Networking, 2016.
- [4] Y. Liao, L. Song, Y. Li, Y. Zhang. *How Much Computing Capability Is Enough to Run a Cloud Radio Access Network?*, IEEE Communications Letters, Vol. 21, 2017.
- [5] T. Pfeiffer. *Next Generation Mobile Fronthaul and Midhaul Architectures [Invited]*, B38 J. Opt. Commun. Netw., 2015.
- [6] A. Checko, H. L. Christiansen, Y. Yan, L. Scolari, G. Kardaras, M. S. Berger, L. Dittmann. *Cloud RAN for Mobile Networks - a Technology Overview*, IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2014.

- [7] Bartelt, Jens, et al. *Fronthaul and backhaul requirements of flexibly centralized radio access networks*, IEEE Wireless Communications, 2015.
- [8] Schulz, Dominic, et al. *Robust optical wireless link for the backhaul and fronthaul of small radio cells*, Journal of Lightwave technology ,2016.
- [9] Ericsson Review. *Connecting the dots: small cells shape up for high performance indoor radio*, 2014.
- [10] F. S. Farias. *Designing Cost-Efficient Transport Solutions for Fixed and Mobile Broadband Access Network*, UFPA, 2016.
- [11] M. Mahloo, P. Monti, J. Chen, L. Wosinska. *Cost Modeling of Backhaul for Mobile Networks*, ICC'14 - W9: Workshop on Fiber-Wireless Integrated Technologies, Systems and Networks, 2014.
- [12] A. Checko, H. Holm, H. Christiansen. *Optimizing Small Cell Deployment by the use of C-RANs*, European Wireless, 2014.
- [13] H. Holm, A. Checko, R. Al-obaidi, H. Christiansen. *Optimal Assignment of Cells in C-RAN Deployments with Multiple BBU Pools*,2015 European Conference on Networks and Communications, 2015.
- [14] Bristin R., Paul A. *Taxicab Trigonometry*, Pi Mu Epsilon Journal, vol. 8, pp. 89-85, 1985.
- [15] C. Ranaweera, C. Lim, A. Nirmalathas, C. Jayasundara, and E. Wong. *Cost-optimal Placement and Backhauling of Small-cell Networks*, J. Lightw. Technol., 2015.