

AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DE ESTAÇÕES RADIO BASE (ERB)

Marcio Zamboti Fortes¹; Daniel da Costa Vidal²; Gabriel Rodrigues de Souza³; Luciano Gabriel de Oliveira Coelho⁴; Guilherme Gonçalves Sotelo⁵

Resumo

A quantidade de usuários de redes celulares tem crescido drasticamente e, conseqüentemente, o consumo de energia nas estações de rádio base tem aumentado significativamente. O consumo de energia com a rede 4G tornou-se um desafio para os fabricantes permanecerem energeticamente eficientes e rentáveis dentro do setor de telecomunicações. Neste contexto, o presente artigo propõe um estudo da relação entre o consumo de energia das macro células utilizando a frequência de 2500 MHz e a largura de banda do Sistema LTE (*Long Term Evolution*). Uma discussão sobre os horários de pico e a redução da faixa de transmissão, para reduzir o consumo, são mostradas..

Palavras-chave: eficiência energética, Comunicação móvel 4G, estação base, consumo de energia.

Abstract

The Cellular networks users' amount have been growing drastically and consequently the energy consumption in the base radio stations has increased significantly. Power consumption in Long-Term Evolution (LTE) has become a challenge for manufacturers to stay energy-efficient and profitable at the same pace within the Telecommunications industry. In this context, the present paper proposes a study of the relationship between the energy consumption of macro cells, using the frequency of 2500 MHz, and the bandwidth of the LTE System. A discussion of the peak times and the reduction of the transmission band, to reduce consumption are shown.

Keywords: energy efficiency, 4G mobile communication, base station, energy consumption.

1 Introdução

Com a evolução dos sistemas de comunicação, ampliado pela disponibilização dos serviços de dados pela rede fixa e móvel, para entregar uma qualidade avançada de vídeo e áudio em tempo real em qualquer lugar, existe uma necessidade da expansão da rede *Long Term Evolution* (LTE) conforme reportado por Blat *et al.* (2012).

Desde a implantação do 4G (LTE 2500 MHz) no Brasil, a partir da licitação do Governo Federal em 2012, observou-se um aumento expressivo da quantidade de dados e informações

¹ Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo-USP. professor associado II da Universidade Federal Fluminense-UFF e dos Mestrados de Engenharia Elétrica e de Telecomunicações e Profissional em Montagem Industrial pela UFF, e-mail: mzamboti01@gmail.com.

² Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense-UFF, pesquisador da Universidade Federal Fluminense-UFF, e-mail: dcvidal@gmail.com.

³ Mestrando em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense-UFF, e-mail: gabrielr.desouza@hotmail.com.

⁴ Mestre em Ciências e Engenharia Elétrica e de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense-UFF, e-mail: lucianogoc@gmail.com.

⁵ Doutor em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, professor Associado II do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense-UFF, e-mail: gsotelo@id.uff.br.

trocadas entre usuários da rede de telefonia móvel. Além disso, observa-se um aumento na quantidade de aparelhos com a tecnologia do 4G dos anos de 2014 a 2017, alinhados com o desenvolvimento social devido as ações do governo, como a ampliação do acesso a telefonia móvel nas áreas rurais e redução de alguns impostos (MALAQUIAS *et al.*, 2017). Mundialmente, desde 2014 registra-se uma taxa de crescimento do mercado de telecomunicações em torno de 4,4% anualmente (WISEGUYREPORTS, 2019).

Para que uma perfeita interação entre a transmissão de dados e a análise de eficiência, é importante observar a possibilidade de não entrar em conflito com as métricas de desempenho da rede. Qualquer alteração realizada, como por exemplo, a redução do nível de potência de transmissão, é necessária uma taxa mínima de dados para satisfazer os parâmetros de conexão e legislação vigente (CHUNG, 2017).

A possibilidade de novas conexões e interações com usuários em tempo real, resultam no aumento do consumo de energia devido ao aumento do tráfego de dados. Estudos apontam que com o acréscimo da utilização desses sistemas resulta diretamente ao aumento também da produção de gases do efeito estufa (HUG *et al.*, 2015). Pesquisas (EDLER; LUNDBERG, 2004) apresentam uma necessidade da redução imediata dessas emissões com o uso eficiente da energia pelo sistema de telecomunicação atual.

Seguindo esta linha de desenvolvimento, o consumo de energia é uma das preocupações neste processo, conforme apresentado em (CHUNG, 2017; HUG *et al.*, 2015; EDLER, LUNDBERG, 2004).

Com a evolução da tecnologia e a necessidade de otimização da rede, bem como a busca continua pela redução de consumo de energia (IRMER, 2009), permitirá que a rede tenha um maior desempenho e controle total da instalação permitindo a expansão de uma rede mais inteligente. Seguindo esta linha de desenvolvimento, o consumo de energia é uma das preocupações neste processo, conforme apresentado em (DIAZ *et al.*, 2010; BREGNI *et al.*, 2011; SANTOS e CUGNASCA, 2014).

Neste contexto, este artigo apresenta um estudo da redução de consumo baseado nas técnicas de eficiência energética. Também é apresentada uma análise quantitativa da redução do consumo energético a partir de medições realizadas em uma estação de rede móvel.

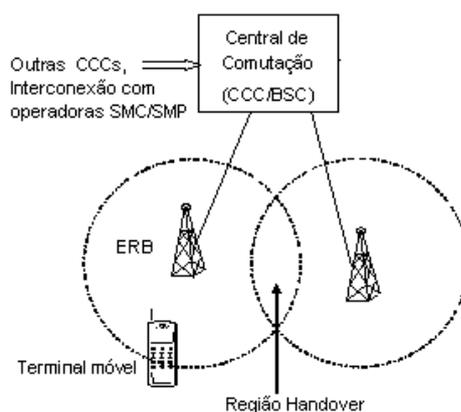
Este artigo está organizado em 7 seções, sendo esta primeira uma breve introdução e exposição do problema. Na sequência tem-se uma seção para apresentar uma introdução da estrutura de uma Estação Rádio Base (ERB) e depois são discutidas as características e sistemas de uma ERB. Depois apresenta-se uma seção com mais detalhes da metodologia adotada no

estudo, seguindo com a gestão e técnicas de eficiência energética nas duas seções posteriores. Finalmente, são apresentados os resultados obtidos e as conclusões deste trabalho.

2 Estrutura da Rede – Estação Base

A ERB é a denominação dada a uma arquitetura de equipamentos que comunicam com os dispositivos terminais móveis. Por meios de transmissão, essa estação se conecta a uma Central de Comutação e Controle (CCC), conforme apresentado na Figura 1, que permite a troca de informações e dados entre as diversas centrais e outras ERBs.

Figura 1 - Estrutura de comunicação de uma ERB



Fonte: Malaquias et al., (2017)

A ERB, basicamente, pode ser classificada como sendo de dois tipos:

- a) *Greenfield* – são estações erguidas em solo, onde são construídas grandes estruturas para a transmissão e recepção de sinais de rádio frequência;
- b) *Rooftop*: estações localizadas em topos de edificações.

Existem outros tipos de classificação de acordo com o atendimento, nesse caso, a estação pode ser do tipo de atendimento *indoor* ou ERB móvel. Esse artigo enfocará apenas em estações macro células (*greenfield*), que são estações localizadas em área suburbanas com cobertura de até 35 km. Para todos os tipos abordados podem existir uma variação de características de estrutura dependendo de diversos fatores, como: espaço, localização, fatores ambientais e condições climáticas.

Tipicamente a estrutura de uma ERB é projetada para instalação da demanda dos equipamentos de comunicação e transmissão, sendo os principais componentes:

- a) *Infraestrutura* - torre, suporte e mastros, onde serão instaladas antenas. Contêineres ou gabinetes *outdoor* para acomodação dos equipamentos de transmissão de dados, que devem ser

climatizados dependendo da necessidade;

b) *Sistema de energia* - fonte de alimentação AC/DC, bancos de baterias, grupos geradores e outras fontes de alimentação alternativas;

c) *Sistema de monitoramento e controle de rede* – gestão adaptativa de rede com a utilização do sistema de Gerenciamento pelo Lado da Demanda onde pode-se colocar o equipamento em um modo de baixa potência reduzindo o consumo da estação;

d) *Sistema de comunicação e transmissão* - Antenas de RF e transmissão, *Remote Radio Unit* – RRU e Unidade de Banda Base - BBU.

Uma análise alinhada com o proposto neste artigo considerando análise eficiência energética e análise econômica tem-se a pesquisa de Kakitani e outros (2015), em que cenários com interferência de co-canal e reuso de frequências são estudados para ERBs. Em pesquisas correlatas destaca-se o uso de técnicas de otimização para localização das ERBs, como apresentado em Soto e outros (2012).

3 Característica da LTE

As redes LTE possuem características que possibilitam a comunicação de dados com elevadas taxas de transferência, baixo tempo de latência, tecnologia de rádio otimizada por pacotes e espectro com maior largura de banda (PANDE *et al.*, 2013). Reconhecidamente o LTE apresenta recursos que o denotam como um avanço em termos de tecnologia de sistemas de telefonia celular.

Entretanto, existem questões que exigem atenção para que se obtenha a devida operação rede. Um exemplo é o caso de prevenir a sobrecarga e a sobreposição espectral da sinalização utilizada no controle. Nesta situação o aumento do consumo de energia elétrica origina da elevada quantidade de sinalização trafegada, ocorrida principalmente por falhas no sistema devido a divisão dos pacotes a serem transmitidos e intenso fechamento de enlaces da rede.

Outra questão é o fato do LTE suportar muitos dos demais padrões existentes, no qual o emprego de diferentes requisitos para garantir tal compatibilidade compromete a verificação do estado de operação da rede e, por conseguinte, resulta em aumento no consumo de energia (IWAMURA *et al.*, 2010).

Outra fonte de aumento no consumo em uma ERB é a característica particular do LTE de variar, com certa intensidade, a amplitude dos sinais transmitidos, tornando o módulo transmissor menos eficiente (AHAMADI, 2014), assim como a transmissão de dados em alta velocidade, que exige elevada potência durante a execução, sendo de extrema importância e cada vez mais encarada como uma missão a gestão eficiente do consumo de energia.

3.1 Gestão do consumo de energia nos sistemas de telefonia celular

Fazendo uma análise com o que tem sido discutido em torno da gestão do consumo de energia nos sistemas de telefonia celular, o crescimento do consumo de energia que ocorre em consequência do aumento do tráfego de dados nas redes de comunicação, devido à grande quantidade de novos clientes a cada ano foi reportado em (MALAQUIAS *et al.*, 2017; AHMADI, 2014).

Nesse contexto, a tecnologia da informação e as telecomunicações vêm sendo responsáveis por cerca de 10% da energia que se consome no planeta, e representam uma parcela de 2% do aquecimento global, que pode alcançar a casa dos 3% nos próximos anos (OH *et al.*, 2011), o que chama a atenção para a necessidade de se buscar meios de obter eficiência energética nos sistemas de telefonia celular – atendendo à crescente demanda, porém com a menor potência possível – devido ao impacto que os mesmos têm causado ao meio ambiente e ao clima do planeta (MAIHANIEMI, 2009).

Assim, para se obter sistemas de telefonia celular mais eficientes seria necessário reduzir o consumo de energia nas ERB (SCHECK, 2010), uma vez que representam uma parcela considerável da energia que é consumida dentro deste grupo. A automação destes processos tem sido uma alternativa para se alcançar os objetivos esperados na redução do consumo energético, por meio da utilização de técnicas automatizadas para operação e manutenção do sistema (KNOLL, 2014; ZHANG and HAMMAINEM, 2015).

2.2 Técnicas de Eficiência Energética - Gestão Adaptativa

O consumo de energia elétrica em um sistema de telefonia celular varia de acordo com o tráfego de voz ou de dados, principalmente com a necessidade da operação do sistema de climatização durante períodos de maior demanda da rede.

Neste cenário que coloca de lado questões importantes relacionadas à eficiência energética, podemos destacar o módulo amplificador de sinal como sendo o dispositivo de maior consumo de energia, a fim de garantir sua disponibilidade na rede, dentre os demais que fazem parte do conjunto no qual constitui uma ERB. Logo, caracteriza-se como desperdício de energia o módulo amplificador de sinal permanecer constantemente a pleno serviço, ainda que momentaneamente, o sistema não demande de sua potência total na operação.

O quadro se mostra ainda mais crítico, ao passo que o consumo de energia é o mesmo devido ao próprio planejamento de operação do sistema, embora existam diferentes níveis de demanda da rede, inclusive diante do baixo tráfego em certos horários do dia e da noite, em

função do próprio tipo de região ou localidade, o que configura desperdício ainda maior. Desta forma, a busca pela eficiência energética em um sistema de telefonia celular pode ocorrer por meio de técnicas que se baseiam em realizar mudanças na operabilidade do módulo amplificador, de modo que o mesmo passe a operar de maneira inteligente, reduzindo, assim, o consumo de energia (AMBROSY *et al.*, 2011). Esta técnica pode ser qualificada por Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) aplicada a equipamentos de telecomunicações, visto que estes amplificadores são os maiores consumidores dentro da ERB.

Nesse sentido, pode-se colocar o módulo amplificador de sinal em estado de hibernação, à medida que o sistema identifique sua ociosidade momentânea ou ajustar a operabilidade do mesmo de acordo com a intensidade do sinal de transmissão. Com relação ao estado de hibernação, busca-se reduzir o consumo de energia do módulo amplificador de sinal inclusive dispensando sua total disponibilidade ao sistema utilizando recursos para comutação de voz ou pacote de dados em taxas de transferência elevadas, a fim de possibilitar intervalos maiores de hibernação.

Quanto ao ajuste da operabilidade do módulo amplificador de sinal, a redução do consumo de energia pode ser obtida levando em consideração que, atualmente, as redes de telefonia celular têm sido mais utilizadas para acesso à Internet e troca de mensagens, onde é possível obter um consumo reduzido de energia elevando o tempo de comutação dos pacotes de dados. Diante das possibilidades apresentadas para redução do consumo de energia em um sistema de telefonia celular, a grande questão está justamente em encontrar um ponto de equilíbrio no que diz respeito à largura de banda para o tráfego da rede (AMBROSY *et al.*, 2011).

4 Metodologia

Devido à variação do consumo de uma ERB e a dificuldade da quantificação da energia consumida, para as medições realizada neste artigo, considera-se apenas o consumo dinâmico, excluindo possível variações de consumo devido ao tráfego de dados.

Realizamos as medições com 5 frequências diferentes, que ocorreram em um período de 5 dias, utilizando a média diária de 1 hora para cada frequência.

Conforme proposto neste artigo, o consumo medido refere-se apenas do sistema de LTE de uma ERB, onde a partir da redução da largura de banda do sistema LTE, obteve-se os dados de potência e temperatura.

Para realizar as medições, utilizamos um *software* específico do fabricante Huawei. Este equipamento é um sistema de gerenciamento de rede e gerencia uma grande variedade de

parâmetros da rede em monitoramento, como eNodeBs (DBS3900). Além disso, compararam-se os dados encontrados com as medidas instantâneas realizadas por instrumentos convencionais de medição de energia elétrica. Neste estudo especificamente utilizou-se um alicate volt-amperímetro para medições de corrente em comparação com o *software*.

Essas medições se deram em uma ERB em condições de operação para teste em ambiente típico de instalação e a cada alteração de largura de banda foi considerado um intervalo de 1(uma) hora para realizar a medição.

5 Técnicas de Redução do consumo de energia nos sistemas de Telefonia Celular

Eficiência energética em sistemas de telefonia celular tem sido um tema de interesse na literatura, pois na concepção dos sistemas existentes o consumo de energia em uma ERB se mantém inalterável independentemente da demanda de tráfego (MATALGAH *et al.*, 2013). Dessa forma é possível utilizar como base a variação que ocorre na referida demanda ao longo do dia e buscar reduzir o consumo de energia dos sistemas.

Em princípio, a eficiência energética pode ser obtida por meio de aplicação de equipamentos que consumissem menos energia, porém, isso demandaria de imediato o desenvolvimento de novos *hardwares* e, conseqüentemente a necessidade de altos investimentos. Esta medida provavelmente afastaria o interesse das operadoras de telefonia celular em adotar possíveis práticas para a redução do consumo de energia. Considera-se mais viável num primeiro momento concentrar os esforços nos trabalhos de se obter eficiência energética com ajustes dos parâmetros do sistema, em função da demanda de tráfego.

5.1 Eficiência energética em função da demanda de Tráfego

A redução da energia consumida nos sistemas de telefonia celular pode ser obtida por meio da gestão eficiente do consumo diante da variação da demanda do tráfego do sistema, realizando, entre outras possibilidades, como a requisição de recursos e a divisão de demanda, alterações nos parâmetros de largura de banda dos canais de comunicação.

Ou seja, assumindo o consumo máximo de energia em rádio frequência de 40 W por setor, sendo comumente usados uma ERB tri-setorizada, e usando 2 x 20 W por Amplificador de Potência (AP) vemos que o maior consumo energético se dá pelo uso dos AP. É evidente que quando o tráfego é alto, a potência exigidas da ERB beira a potência máxima, porém, quando não há alta demanda, ou seja, baixo tráfego de dados, não há necessidade do uso de todos os AP contidos em uma ERB que nesse caso estariam em modo *standy-by* e ainda assim, estariam consumindo energia.

5.2 Antenna Muting e IPsi-Omni Dinâmica

A Antena Muting (AM) e Psi-Omni Dinâmica (AL-HUSSEINY and FRENGER, 2015) são técnicas viáveis para macro células com *Multiple Input Multiple Output* MIMO, rurais (WU *et al.*, 2014). Tais técnicas consistem em diminuir o número de AP, sendo estes os maiores contribuintes para o alto consumo. Ao se fazer uso de AM, antenas seriam postas em modo de espera dado que não há alta demanda de tráfego na célula. Em conjunto com tal técnica, seria uma opção a utilização da configuração Psi-Omni, que conta com a simulação de uma antena Omnidirecional, usando-se de antenas setoriais, e sendo assim, diminuindo o número de AP envolvidos. Tais técnicas, somadas, podem render uma diminuição de 43,8% no consumo energético, tendo apenas 10,7% de degradação para o usuário (AL-HUSSEINY and FRENGER, 2015).

6 Características/Quantificação do consumo de Energia e Resultados obtidos

Para a caracterização do consumo de energia de uma ERB considera-se a classificação de dois tipos de consumo: estável e dinâmico (KANWAL *et al.*, 2017). O consumo estável é relativo a parte de *hardware* do sistema, onde poderá alcançar uma melhor eficiência devido as melhorias de componentes e novas tecnologias. Por outro lado, o consumo dinâmico depende dos recursos da ERB e da quantidade de tráfego. No presente trabalho, será verificado o consumo dinâmico.

Para a quantificação do consumo de energia em quilowatts-hora é necessário saber a potência consumida em Watts, em um período determinado de tempo, ou seja:

$$[kWh] = \frac{P(W) \times t}{1.000} \quad (1)$$

Onde:

P é a potência consumida em W

t o tempo determinado do consumo em horas

Baseado na definição e análise das técnicas de eficiência energética descritas neste artigo obtêm-se os dados de potência média consumida e temperatura média dissipada para cada frequência apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de Frequência, Consumo e Temperatura

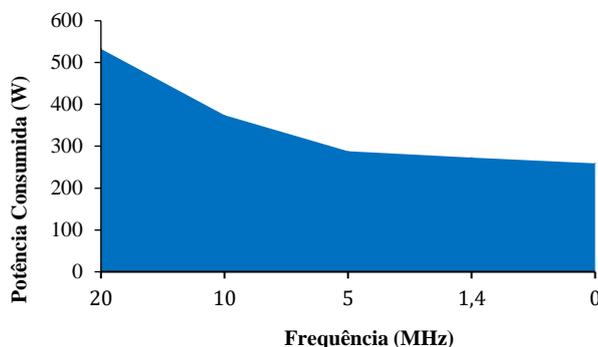
Frequência (MHz)	Potência (W)	Temperatura (°C)
20	532,8	48
10	374,4	46
5	288,0	42
1,4	273,0	38
0	259,2	35

Fonte: Os autores, 2020.

A cada alteração, observamos uma redução de consumo, conforme demonstrado na Figura 2, além disso, há uma redução da temperatura dissipada.

O consumo do LTE em uma estação corresponde em aproximadamente 27% da demanda total, realizando uma estimativa de consumo mensal, utilizando a equação de potência consumida em kWh, na Eq. (1), pode-se concluir há uma redução em torno de 6 – 25% do consumo de uma estação utilizando a técnica de controle de potência, como pode ser observado na Figura 2 se compararmos a frequência de 20 MHz com consumo médio de 500 Wh para a frequência de 10 MHz com consumo médio em torno de 390 Wh.

Figura 2 – Relação de Consumo e Frequência



Fonte: Os autores, 2020.

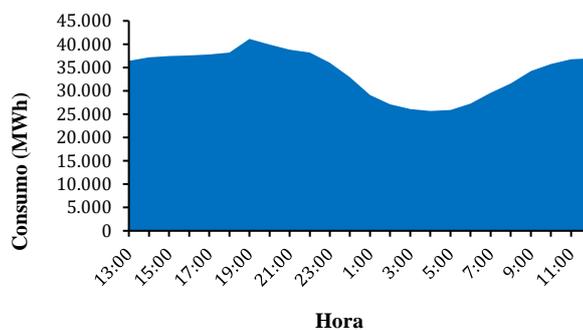
Outro fator que se pode observar a partir da Tabela 1 é a redução gradual do calor dissipado, em condições onde existe uma necessidade de ambientes climatizados para processamento de dados.

Com os resultados obtidos das medições de temperatura dissipada gerados pelo *software*, durante o período onde a frequência é de 20 MHz a temperatura média foi de 48°C reduzindo cerca de 20,8% quando a frequência é reduzida a 1,4 MHz.

Como o modelo para quantificação de energia é muito utilizado para obter dados de consumo durante certo período de tempo, também se pode fazer uma comparação com a relação de tráfego de dados e consumo diário de energia elétrica. Analisando-se a curva dos dados na Figura 3, que foi adaptada de (ONS, 2019), de consumo de energia elétrica da região Sudeste,

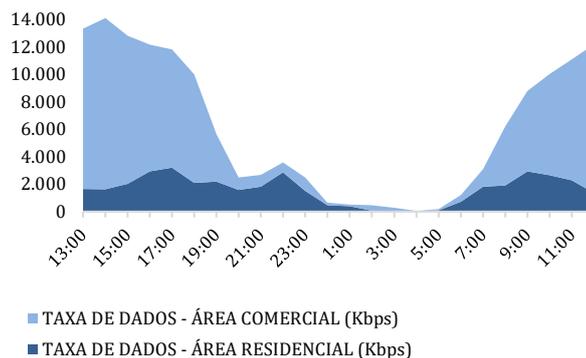
observa-se que num período dia das 21 h às 06 h o patamar de carga é inferior ao consumo durante demais horários (06 h - 20 h). Comparando o mesmo período com a Figura 4, de tráfego médio de uma ERB para centro urbano e residencial, pode-se concluir que a relação com patamar de redução do consumo de energia é similar.

Figura 3 - Consumo de Energia Elétrica Região Sudeste



Fonte: adaptado de ONS (2019)

Figura 4 - Taxa Média de Dados de uma ERB



Com a premissa da redução banda do sistema sem perda da métrica de qualidade, pode-se supor que devido ao tráfego ser inferior durante o período das 21 h – 06 h, essa técnica pode ser aplicada durante esse período pois existem menos dispositivos móveis conectados à rede.

Desta forma, a rede pode ser otimizada para a potência de transmissão ideal do atendimento durante este período. Embora a constatação de redução da taxa de dados com a redução de banda seja viável, destaca-se a importância de uma análise mais específica para cada região, pois conforme observado na Figura 4 o perfil de taxa de dados na região residencial durante o período de 18 h - 21h se mantém estável, que é o oposto da região comercial, onde há uma redução significativa.

7 Conclusões

A redução de gastos com energia elétrica por meio da eficiência energética é um foco de diversos setores industriais, o consumo energético em telecomunicação vem ganhando maior interesse devido ao crescimento destes serviços. A Tecnologia da Informação e Comunicação contribui aproximadamente em 2% para o aquecimento global, sendo a maior parte atribuída as telecomunicações.

Nas redes móveis, o aumento do consumo se deve, principalmente, ao número crescente de terminais e o volume de dados trafegados. Para suprir essa demanda é necessária a criação de novas ERBs. Contudo, o crescente interesse na redução do consumo de energia vem tornando-se um desafio para os fabricantes, afetando aspectos ecológicos e econômicos.

Foi apresentado neste artigo, que as ERBs de redes LTE têm um alto consumo durante seu estado ocioso e que a aplicação do conceito de GLD a estes equipamentos pode reduzir o consumo da estação.

Conforme analisado nesse estudo de caso, identifica-se oportunidade de redução do consumo de energia nas ERBs quando se utilizam elementos de controle e monitoração das temperaturas dissipadas nos equipamentos.

Esta redução também tem dependência direta do perfil de acesso que é variável por região, horários e dias da semana. Essas reduções podem gerar uma redução de 10-20% ao mês no consumo de energia, dependendo da tecnologia dos equipamentos instalados, incluindo aqueles de monitoramento e controle.

Neste trabalho focou-se em um equipamento específico (AP) que é o elemento de maior consumo da ERB avaliada, o que pode ser expandido a outros equipamentos seguindo a mesma metodologia proposta.

Referências

AHMADI, S. **LTE-Advanced: A Practical Systems Approach to Understanding 3GPP LTE Release 10 and 11 Radio Access Technologies**. Elsevier, Waltham, USA, 2014.

AL-HUSSEINY and FRENGER, P. Enhancing LTE Energy Performance with Antenna Muting and Dynamic Psi-Omni Configuration. In **2015 81st Vehicular Technology Conference - VTC Spring, Glasgow, UK**, pp. 1 - 5, 2015. doi:10.1109/VTCSpring.2015.7145824.

AMBROSY, A. *et al.* Energy saving potential of integrated hardware and resource management solutions for wireless base stations. In **2011 IEEE 22nd International**

Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications - PIMRC, Toronto, Canada, pp. 2418-2423, 2011. doi: 10.1109/PIMRC.2011.6139955.

BHAT, P. *et al.* LTE-Advanced: An Operator Perspective. **IEEE Communications Magazine**, v. 50, n. 2, p. 104–14, 2012. doi: 10.1109/MCOM.2012.6146489.

BREGNI, S.*et al.* On the Energy Efficiency of IP-over-WDM Networks. **IEEE Latin America Transactions**, v.9, n.4, p.477-483, 2011. doi: 10.1109/TLA.2011.5993731.

CHUGN, Y. L. Energy-saving transmission for green macrocell-small cell systems: A system-level perspective. **IEEE System Journal**, v. 11, n. 2, p. 706-716, 2017, doi: 10.1109/JSYST.2015.2475377.

DIAZ, E.M. *et al.* SON Use Case Study "Energy Savings" for LTE eNBs. **IEEE Latin America Transactions**, v.8, n.2, p. 184-189, 2010. doi: 10.1109/TLA.2010.5514446

EDLER, T.; LUNDBERG, S. Energy Efficiency Enhancements in Radio Access Networks. **Ericsson Review**, 2004. Disponível em: <http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/200401/files/2004015.pdf>. Acesso em: 15 out 2019.

HUG, K.M.S. *et al.* Green HetNet CoMP: Energy efficiency analysis and optimization. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 64, n. 10, p. 4670-4683, 2015. doi: 10.1109/TVT.2014.2371331.

IWAMURA, M. *et al.* Carrier aggregation framework in 3GPP LTE-advanced [WiMAX/LTE Update]. **IEEE Communications Magazine**, v. 48, n. 8, p. 60-67, 2010. doi: 10.1109/MCOM.2010.5534588.

IRMER, R. Evolution of LTE — Operator Requirements and Some Potential Solutions. In **Proc. 5th International. FOKUS IMS Workshop**, 2009.

KANWAL, K. *et al.* Energy Management in LTE Networks. **IEEE Access**, v. 5, p. 4264 – 4284, 2017. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2688584

KATITANI, M.T. *et al.* Energy Efficiency vs. Economic Cost of Cellular Networks under Co-channel Interference. **IEEE Latin America Transactions**, v.13, n.2, p.422-427, 2015. doi: 10.1109/TLA.2015.7055559.

KNOLL, T.M. A combined CAPEX and OPEX cost model for LTE networks. In **2014 16th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium - Networks**, Funchal, Portugal, pp. 1-6, 2014. doi: 10.1109/NETWKS.2014.6958531.

MAIHANIEMI, R. ICT getting green. In **2009 4th International Conference on Telecommunication - Energy Special Conference - TELESCon**, Vienna, Austria, pp. 1-6, 2009.

MALAQUIAS, R.F.; MALAQUIAS, F.F.O.; HWANG, Y. The role of information and communication technology for development in Brazil. **Information Technology for Development**, v. 23, p. 179-193, 2017. doi: 10.1080/02681102.2016.1233854.

MATALGAH, M.M. *et al.* Cross-layer resource allocation approach in OFDMA systems with multi-class QoS services and users queue status. In **2013 IEEE Global Communications Conference - GLOBECOM**, Atlanta, USA, pp. 1385-1390, 2013. doi: 10.1109/GLOCOM.2013.6831267.

OH, E. *et al.* Toward dynamic energy-efficient operation of cellular network infrastructure. **IEEE Communications Magazine**, v. 49, n. 6, p. 56-61, 2011. doi: 10.1109/MCOM.2011.5783985.

Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Disponível em: http://www.ons.org.br/resultados_operacao/SDRO/Diario/index.htm.

PANDE, A. *et al.* Video delivery challenges and opportunities in 4G networks. **IEEE Multimedia**, v. 20, n. 3, pp. 88-94, 2013. doi: 10.1109/MMUL.2013.44.

SANTOS, I.M.; CUGNASCA, C.E. Adaptive Strategies for Dynamic Settings of the Data Register Frequency in Wireless Sensor Networks. **IEEE Latin America Transactions**, v.12, n.7, p. 1284-1291, 2014. doi: 10.1109/TLA.2014.6948864.

SCHECK, H.O. ICT & wireless networks and their impact on global warming. In **2010 European Wireless Conference - EW**, Lucca, Italia, pp. 911-915, 2010. doi: 10.1109/EW.2010.5483413

SOTO, C.; COVARRUBIAS, D.H.; VILARREAL, S. Base Station Placement Optimization Algorithm for Heterogeneous Distributions of Mobile Users with Multi-Service Requirements. **IEEE Latin America Transactions**, v.10, n.5, p. 2032-2039, 2012. doi: 10.1109/TLA.2012.6362345.

WU, Y. *et al.* Green transmission technologies for balancing the energy efficiency and spectrum efficiency trade-off. **IEEE Communications Magazine**, v. 52, p. 112 - 120, 2014. doi: 10.1109/MCOM.2014.6957151.

WISEGUY. **Telecoms Market Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2019-2022**, Disponível em: <https://www.marketwatch.com/press-release/telecoms-market-global-industry-analysis-size-share-growth-trends-and-forecast-2019-2022-2019-04-17>.

ZHANG, N.; HAMMAINEN, H. Cost efficiency of SDN in LTE-based mobile networks: Case Finland. In **2015 International Conference and Workshops on Networked Systems - NetSys**, Cottbus, Germany, pp. 1-5, 2015. doi: 10.1109/NetSys.2015.7089056.