

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DIEGO WILDE RODRIGUES

Estudo sobre eficiência energética em algumas tecnologias de redes sem fio

São Carlos

2019

DIEGO WILDE RODRIGUES

**ESTUDO SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ALGUMAS
TECNOLOGIAS DE REDES SEM FIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de
Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e
Automação

ORIENTADORA: Profa. Dra. Mônica de Lacerda Rocha

São Carlos

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

W671e Wilde Rodrigues, .Diego
Estudo sobre eficiência energética em algumas
tecnologias de redes sem fio / .Diego Wilde Rodrigues;
orientadora Mônica de Lacerda Rocha. São Carlos, 2019.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2019.

1. Eficiência energética. 2. Redes sem fio. 3.
Telecomunicação. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

Nome: Diego Wilde Rodrigues

Título: “Eficiência Energética em Redes de Telecomunicação sem Fio”

**Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 02 /12 /2019,**

com NOTA 5,5 (cinco, cinco), pela Comissão Julgadora:

**Profa. Dra. Mônica de Lacerda Rocha - Orientadora - SEL/EESC/USP
(Docente Sênior)**

Prof. Titular Amílcar Careli César - SEL/EESC/USP (Docente Sênior)

Mestre André Luiz Ferraz Lourenço - Doutorando - SEL/EESC/USP

**Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino**

*Dedico aos meus pais pela
compreensão, carinho e apoio
incansável.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu pai, Rene, a minha mãe, Márcia, e a minha irmã, Patrícia, que sempre estiveram presentes me apoiando e me dando forças para que eu continuasse nessa caminhada durante essa etapa da minha vida. Sem essa base sólida eu já teria desmoronado.

Muito obrigado também à minha namorada, Alessandra, que compartilhou comigo momentos de muito aprendizado, sempre muito carinhosa e companheira, me acompanhando nessa e em outras etapas da minha vida.

Agradeço à prof. Dra. Mônica Lacerda Rocha, que de imediato aceitou me orientar, disponibilizando materiais para a realização do trabalho de conclusão de curso.

Um agradecimento a todos os professores do Departamento de Engenharia Elétrica, pelos conhecimentos transmitidos e colaboração para minha formação acadêmica.

Agradeço também à República Oligarquia, por todos os anos de convivência e experiências compartilhadas. Ao Grupo ACASO de teatro, por me permitir ver a vida de uma maneira mais leve. À Mosaico 21, que me deu confiança para superar e vencer os obstáculos da vida. Aos grupos Campanha USP do Agasalho e Projeto Semente, que me mostraram a importância de fazer o bem ao próximo. À banda Bem Black, fiéis amigos que me mostraram o poder de acreditar e seguir os sonhos. À Raccoon Marketing Digital, que me impulsionou meu progresso profissional. E, finalmente, à Agência Kife que confia no meu trabalho e acredita que juntos podemos mudar o mercado.

*O insucesso é apenas uma oportunidade para
recomeçar com mais inteligência.
(Henry Ford)*

RESUMO

WILDE, D. **Estudo sobre eficiência energética em algumas tecnologias de redes sem fio.** 2019. 50 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

O presente estudo tem como tema a eficiência energética voltada para a telecomunicação, discutindo a gerência energética eficiente em redes sem fio. A eficiência energética configura-se como um tema atual e de grande relevância social e ambiental, tendo em vista que se trata de melhorar o uso das fontes de energia, pensando na utilização racional de energia.

Atualmente a busca pela eficiência energética é associada a uma ação fundamental para a redução da dependência energética, aumento da segurança no fornecimento de energia e de sustentabilidade. Com o crescimento vertiginoso e constante da comunicação por redes sem fio, a ideia de eficiência energética nesse setor vem se expandindo.

Foram analisadas algumas frentes inseridas no contexto das telecomunicações, como a gerência energética eficiente, as redes verdes, smart grid e energia fotovoltaica. Observou a eficiência energética em redes celulares, olhando para a técnica cell zooming, em redes ad-hoc sem fio, em redes de sensores sem fio. E, por fim, é apresentado os desafios e oportunidades futuras e as conclusões.

O objetivo da pesquisa é investigar os princípios da eficiência energética nas redes sem fio, analisando as propostas e vantagens de diferentes modelos. Para o desenvolvimento do estudo optou-se pela pesquisa bibliográfica, com fonte em livros, artigos, dissertações e teses que tratam sobre o assunto.

Palavras-chave: Eficiência energética. Redes sem fio. Telecomunicação.

ABSTRACT

WILDE, D. **Energy efficiency study on some wireless networking technologies.** 2019. 50 pgs. Undergraduate thesis. (Graduation) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

The present study has as its theme the energy efficiency focused on telecommunication, discussing the efficient energy management in wireless networks. Energy efficiency is a current theme of great social and environmental relevance, considering that it is about improving the use of energy sources, thinking about the rational use of energy.

Currently the pursuit of energy efficiency is associated with a fundamental action to reduce energy dependence, increase security of energy supply and sustainability. With the rapid and steady growth of wireless communication, the idea of energy efficiency in this sector is expanding.

Some fronts in the context of telecommunications were analyzed, such as efficient energy management, green networks, smart grid and photovoltaic energy. He observed energy efficiency in cellular networks, looking at the cell zooming technique, in ad-hoc wireless networks, in wireless sensor networks. And, finally, future challenges and opportunities and conclusions are presented.

The objective of the research is to investigate the principles of energy efficiency in wireless networks, analyzing the proposals and advantages of different models. For the development of the study we opted for bibliographic research, with source in books, articles, dissertations and theses that deal with the subject.

Keywords: Energy efficiency. Wireless networks. Telecommunication.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Matriz elétrica	33
Figura 2 - Eficiência energética em alguns países	34
Figura 3 - Benefícios do Smart Grid para os Stakeholders.....	39
Figura 4 - Modelo de Smart Grid.....	40
Figura 5 - Modelo conceitual de rede inteligente	41
Figura 6 - Motivações para implantação de Smart Grid no Brasil.....	42
Figura 7 - Energia solar fotovoltaica.....	44
Figura 8 - Telecom abastecida com sistema fotovoltaico	45
Figura 9 - Estação de telecomunicação alimentada por sistema fotovoltaico	46
Figura 10 - Sistemas de telecomunicações com módulo solar	48
Figura 11 - Funcionamento do cell zooming nas células.....	53
Figura 12 - Roteamento redes ad hoc.....	54
Figura 13 - Mostra uma arquitetura típica de uma RSSF	55
Figura 14 - Técnicas de redução do consumo de energia - redes de sensores sem fio	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GEE – Gás de Efeito Estufa

REI – Rede Elétrica Inteligente

TIC – Tecnologia de Informação e Comunicação

LISTA DE SÍMBOLOS

CO₂ Gás Carbônico

KWh Quilowatt-hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	31
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
2.1 Contexto da gerência energética eficiente nas telecomunicações	32
2.2 Eficiência energética e telecomunicação.....	37
2.2.1 Redes verdes	38
2.2.2 Smart Grid	39
2.2.3 Energia fotovoltaica.....	43
2.3 Eficiência Energética em Redes Celulares.....	48
2.3.1 Redes celulares.....	48
2.3.2 Cell zooming.....	50
2.4 Eficiência Energética em Redes Ad-Hoc Sem Fio	52
2.5 Eficiência Energética em Redes de Sensores Sem Fio	54
2.6 Desafios Futuros e Oportunidades.....	59
3 CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Com o constante aumento dos consumos energéticos e dos problemas decorrentes como, por exemplo, o efeito estufa causado pela emissão de CO₂, há uma busca por soluções e novas tecnologias para a produção adequada de energia que atenda à mesma demanda, porém com maior eficiência. Além disso, pretende-se abrir caminho para um futuro baseado mais fortemente no uso da “energia limpa”, ou seja, que não utiliza combustíveis fósseis, com melhor eficiência energética e usando fontes, em grande escala, de energia renovável.

Estes princípios se aplicam completamente ao mundo das telecomunicações, que tem passado por uma grande revolução tecnológica.

Nesse cenário, o tema sobre eficiência energética se mostra muito relevante tanto no aspecto econômico quanto ambiental, resultando em vários estudos sobre a Eficiência Energética. (DIAS, 2015).

Assim, dados relativamente recentes mostram que o Brasil ocupa o décimo lugar num ranking que avaliou a eficiência energética entre as 12 maiores economias do mundo, de acordo com estudo realizado pelo Conselho Americano para uma Economia de Energia Eficiente (ACEEE), o levantamento avaliou o uso de energia a partir de 25 indicadores, distribuídos em quatro áreas chaves: indústria, transporte, edificações e esforços nacionais em prol da eficiência energética. Os três primeiros lugares ficaram ocupados pelo Reino Unido, Alemanha e Itália, respectivamente (BARBOSA, 2016).

Neste contexto, a presente monografia tem como tema a eficiência energética voltada para a telecomunicação, com foco na gerência energética eficiente em redes sem fio.

Dentre os objetivos específicos deste estudo, destacam-se:

- Investigar a relevância da eficiência energética;
- Analisar a eficiência energética no setor de telecomunicação;
- Descrever algumas tecnologias que podem atingir estes objetivos em redes celulares e sem fio.

A metodologia utilizada consiste na pesquisa bibliográfica, de caráter expositivo, baseada em livros, artigos científicos, dissertação e teses que tratam sobre o tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contexto da gerência energética eficiente nas telecomunicações

A energia está presente em todas as atividades humanas e, como não se encontra disponível de maneira direta na natureza - sendo obtida por meio de transformações de recursos naturais - seu consumo de forma adequada manifesta-se como um dos requisitos essenciais para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável (ROMÉRO; REIS, 2012).

Desde a Revolução Industrial o uso de energia tem sido intensivo e crescente. Isso porque, desde aquela época, seu uso é crucial para o funcionamento de diversas atividades e setores da sociedade. Na maior parte das edificações, tanto comerciais quanto residenciais e industriais, é a energia elétrica a responsável pelo funcionamento da maioria dos equipamentos. (SÔNEGO, 2017).

As redes elétricas, na maioria das economias desenvolvidas ou em desenvolvimento, foram criadas há mais de um século e desenvolveram-se a partir de modelo tecnológico eletromecânico muito semelhante ao atual. (RIVERA et al., 2013, p.45).

De acordo com Barreto (2018, p.25):

O sistema elétrico desempenha um serviço essencial à sociedade. Grandes poderes requerem grandes responsabilidades e é este o motivo pelo qual a rede está passando por uma transformação visando atender o desafio energético. As necessidades são grandes, o novo cenário de consumo requer mudanças na estruturação da rede de forma a torná-la mais confiável, segura e eficiente. O progresso do uso de equipamentos elétricos e eletrônicos ampliou a demanda por consumo de eletricidade, mas a indústria de energia elétrica não acompanhou a evolução de consumo e está desatualizada com as necessidades correntes.

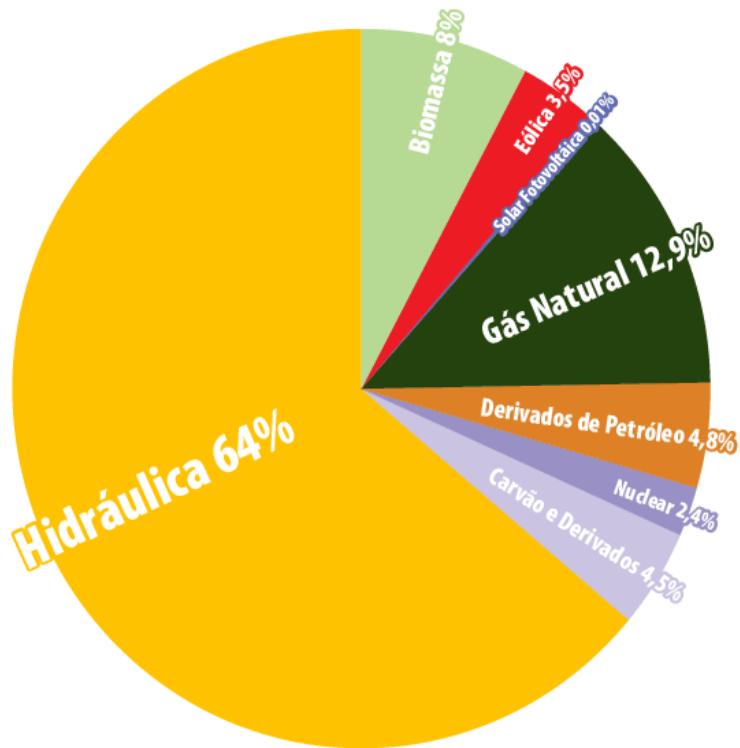
O setor energético tem grande participação em diversos problemas ambientais contemporâneos, pois produz impactos em toda sua cadeia de desenvolvimento – seja na captura de recursos naturais (necessária para seus processos produtivos) ou nos impactos gerados pelos os usos finais, que diferem de acordo com o tipo de consumidor. Os impactos ambientais do setor energético são muitos, como: contribuição com o efeito estufa e mudanças climáticas, chuva ácida, poluição do ar urbano, desertificação, alagamento, degradação marinha.

O mundo utiliza fontes primárias não renováveis para o seu suprimento energético, de modo especial o petróleo, o carvão e o gás natural, liberando assim imensas quantidades de CO₂, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa, causando assim, uma considerável elevação da temperatura do planeta (VENTURA FILHO, 2009).

É relevante o impacto das tecnologias que usam eletricidade e que abrangem diversos serviços, como saúde e educação; muitos serviços relacionados à qualidade de vida e desenvolvimento da sociedade dependem da eletricidade. Alguns estudos vão mostrar isso em números: no Quênia apenas 25% dos serviços de saúde possuem suprimento de energia confiável, o que causa frequentes blackouts.

Em escala mundial, as energias consumidas provêm, aproximadamente, 80% de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), cuja utilização massiva tem conduzido ao esgotamento de suas reservas, constituindo-se em uma ameaça real ao meio ambiente, que se manifesta, principalmente, através do aquecimento global da Terra (efeito estufa) e da acidificação do ciclo da água (MONTENEGRO; REGUSE, 2000).

Figura 1- Matriz elétrica



Fonte: EPE (2016)

Os recursos energéticos derivados do combustível fóssil estão se tornando cada vez mais escassos devido ao aumento da demanda de energia no comércio, indústria, agricultura e no setor doméstico. Deparamo-nos com duas situações: uma é esgotamento dos recursos

naturais e a outra é o impacto sobre o meio ambiente, causado pela exploração das fontes energéticas. A partir dessas situações, podemos perceber a fragilidade da matriz energética mundial (SINHA; CHANDEL, 2015; SOUZA, 2015).

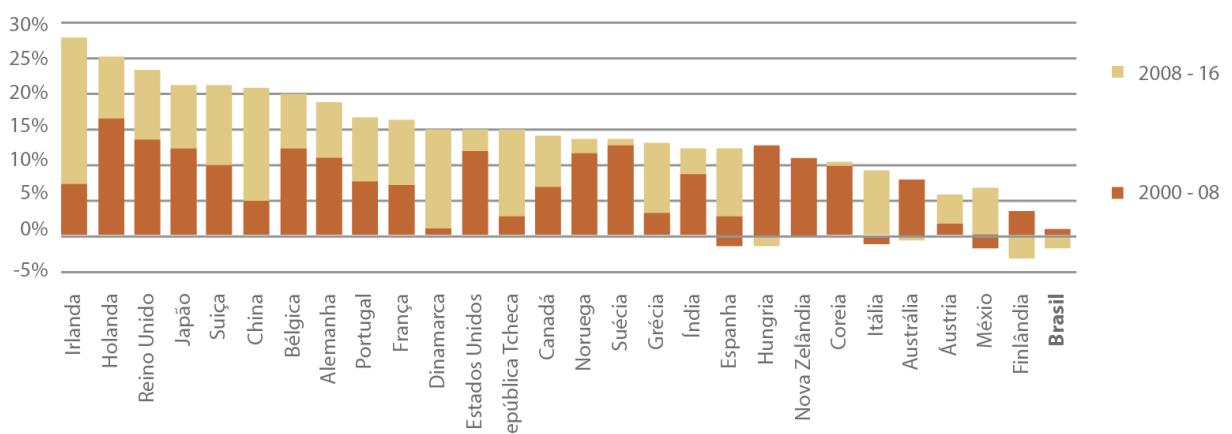
A dependência mundial dos combustíveis fósseis produz uma série de desafios em curto, médio e longo prazo. São fontes energéticas não renováveis, ou seja, são finitas, pois para a sua produção foram necessárias longas eras geológicas.

As fontes não renováveis não são boas para o sistema elétrico, porque não podem oferecer um fornecimento contínuo, são intermitentes. As usinas que fornecem energia com maior inércia e melhores rendimentos (nucleares, hidrelétricas e à base de carvão) podem funcionar sem parar, injetando energia na rede continuamente. Apenas em períodos de pico de demanda é que são necessárias outras fontes de energia, que podem ser mais imprevisíveis e menos eficientes, como térmica, fotovoltaica e eólica.

O desenvolvimento sustentável e as fontes renováveis de energia são temas de repercussão no cenário global, contribuindo para uma maior consciência quanto aos recursos naturais do planeta e o desenvolvimento em todos os setores da sociedade (TIEPOLO et al., 2012).

A crescente demanda global por energia e a importância do impacto das políticas energéticas sobre a sociedade e o meio ambiente criaram a necessidade de se optar por fontes de energia que possam abastecer a humanidade de forma inesgotável e que possam servir de base para o desenvolvimento dos países (OGURA; GUERRA JUNIOR, 2004).

Figura 2 - Eficiência energética em alguns países



Fonte: Assunção; Schutze (2018)

A eficiência energética define-se como a “relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.”¹. Seu mérito é promover a redução do consumo de energia sem mudar a qualidade e quantidade do serviço oferecido. Trata-se de uma adaptação tecnológica de redução de energia. Diferente da conservação de energia, que exige mudança no comportamento do consumidor, a eficiência energética é uma tecnologia voltada à redução do consumo que não exige nenhuma mudança comportamental do consumidor.

O conceito de eficiência energética não se restringe apenas à eletricidade, pode ser aplicada a qualquer forma de energia produzida.

A eficiência energética surge como resposta ao Choque do Petróleo (1973-74 e 1979-1981), evento que trouxe a possibilidade de escassez desse recurso. A alta dos preços produziu diferentes ações que se dedicavam ao aproveitamento e conservação mais eficiente dos recursos energéticos. Além disso, ocorreu também uma significativa tentativa de diversificação da matriz energética, com intuito de garantir mais segurança no atendimento da demanda energética.

No Brasil, durante o período do Choque do Petróleo, em 1975, a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos -, disponibilizou recursos financeiros para o Programa de Estudos e Conservação de Energia. Esse direcionamento de recursos foi realizado com anuência da Presidência da República, desde então houve apoio para o desenvolvimento de pesquisas que focassem na eficiência da gestão de recursos energéticos. (MELAZZO, 2019). O contexto histórico de possibilidade de escassez do petróleo e a alta do preço da fonte energética fez o país dedicar mais atenção à eficiência no uso da energia, conservação e à busca de novas fontes energéticas.

Há pouco mais de duas décadas o Brasil desenvolveu importantes programa de eficiência energética: o PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, e o PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem. Assim, teve-se o entendimento de que era possível que o mesmo tipo de “serviço de energia” (condicionamento, equipamentos eletrônicos, aquecimento, etc.) fosse prestado com menor gasto de energia. Os hábitos de consumo passaram a ser pautados sob a perspectiva da eficiência energética, ou seja, desenvolveram-se medidas para uso de equipamentos eletrônicos que provocam um uso de energia menor para desempenhar o mesmo serviço.

Em 2001, foi publicada a Lei n.10295, que inaugura a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Esse marco legal determinou que cabia ao Poder Público a responsabilidade de desenvolver mecanismos de promoção de eficiência

¹ Conforme matéria O que é eficiência energética, disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>

energética, tanto em edificações quanto em equipamentos e máquinas. O Decreto 4059/2001 criou regulamento para a Lei 10.295/2001, estabelecendo que

os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica a ser fixada nos termos deste Decreto, sob coordenação do Ministério de Minas e Energia. (BRASIL, 2010).²

Tanto no meio acadêmico quanto industrial, o conceito de eficiência energética tem ganhado cada vez mais força, especialmente diante da crise energética mundial atual. Pesquisas têm sido desenvolvidas nesse sentido, buscando a redução do consumo em redes. Essas pesquisas podem se direcionar em dois caminhos distintos. Por um lado, tem-se desenvolvido estudos para viabilizar a conservação de energia. Por outro, tem-se pesquisado o desenvolvimento de fontes de energia renovável que não sejam contaminantes para o meio ambiente.

A eficiência energética é obtida pela relação entre a energia efetivamente consumida e a energia demandada, enquanto a conservação de energia é conseguida pela redução de bens e serviços que consomem energia, como tirar um equipamento elétrico da tomada ao invés de deixá-lo ligado em standby, por exemplo (CROUCHER, 2011).

O conceito de eficiência energética é o esforço na obtenção do melhor desempenho produtivo junto com o menor gasto de energia elétrica. Isso pode ocorrer considerando as seguintes ações:

- Melhorar o uso das fontes de energia;
- Trabalhar de forma sustentável e racional;
- Evitar ao máximo os desperdícios;
- Sempre procurar pela melhor relação entre a quantidade de energia despendida para um determinado fim e aquela que foi disponibilizada para sua realização.

Conforme Leite (2010), diferentes setores da indústria podem usar energia de maneira distinta, com potencial de ganho em cada um deles.

Segundo Busse (2010, p. 02):

As vantagens e os benefícios da economia energética estão relacionados diretamente com a maior disponibilidade de energia, pois

² O Decreto nº 9.864, de 27 de junho de 2019 revogou o Decreto 4059/2001, estabelecendo novas regras para a execução da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia.

com a economia evita-se o desperdício e obtêm-se mais recursos para uso em outras áreas, além de proteger o meio ambiente. No meio ambiente os benefícios estão relacionados diretamente com a redução dos impactos ambientais, redução da queima de combustíveis fósseis, da emissão de gás carbônico, de compostos nitrogenados e enxofre, chuvas ácidas, efeito estufa, alagamentos, desmatamentos, radiação nuclear, aumento do nível dos oceanos, entre outros. A preocupação humana com essa redução e a atitude para que essa preocupação se transforme em fato, torna uma atitude sustentável.

2.2 Eficiência energética e telecomunicação

Dentre os setores econômicos do mundo, o de telecomunicações desponta como um dos mais importantes, exercendo uma função determinante na economia, na cultura e na política. Todas as esferas da atividade humana são permeadas pelas telecomunicações, o setor molda relações sociais, a ciência e tecnologia e o avanço industrial. Esse peso ainda é intensificado com o fenômeno da convergência, em que os conteúdos digitais de voz, vídeo e dados circulam em distintas redes de infraestrutura.

As estações de telecomunicações, prédios utilizados para abrigar os equipamentos e serviços necessários para prestação deste serviço, estão presentes em todo território nacional, devendo atender qualquer localidade com mais de 100 habitantes (ANATEL, 2012).

A economia de energia sempre foi levada em consideração no planejamento de sistemas de comunicação, porém estava voltada ao incremento da capacidade do sistema. Essa ampliação na capacidade do sistema só seria possível por meio de tecnologias de transmissão que fossem energeticamente eficientes. Atualmente, a compreensão da necessidade de economia de energia em redes ou redes verdes (do inglês, green network) está relacionada com o entendimento geral da energia como limitada.

Usualmente os grandes desafios no desenvolvimento de sistemas de comunicação sem fio são o fornecimento de maiores taxas de transmissão e ampliação da área de cobertura. Porém, a eficiência energética também tem surgido como uma grande preocupação na evolução dos sistemas de comunicação sem fio modernos (KAKITANI, 2014).

É necessário que o sistema que se direcionar para a eficiência energética elétrica tenha equipamentos que registrem as magnitudes elétricas para como e onde o consumo é realizado. A partir da análise desses dados, pode-se detectar as ineficiências do sistema, e realizar ações corretivas objetivando a melhoria energética.

2.2.1 Redes verdes

Existe a compreensão mundial de que a exploração do petróleo tem se tornado insustentável, já que, como outros combustíveis atuais, tem reserva finita e não apresentam a melhor eficiência. Além disso, ainda compromete o meio ambiente. Diante desse cenário, há algumas décadas, tanto o meio acadêmico quanto o corporativo tem estudado maneiras de substituir alguns recursos pôr o que ficou conhecido como energia limpa ou renovável.

Tanto a eficiência energética quanto a rede verde são temas de pesquisa que respondem a uma urgência em relação aos desafios que as altas demandas de tráfego sem fio e consumo de energia apresentam.

Da perspectiva ambiental, as redes verdes buscam reduzir a emissão de GEE (gases de efeito estufa). Para tanto, é preciso que se cumpra o tanto quanto possível a utilização de energias renováveis no âmbito das TICs (tecnologia de informação e comunicação). É necessário, também, que se projete componentes de baixa potência que ofereçam o mesmo nível de desempenho. Pode-se, ainda, executar uma reformulação da arquitetura da rede. Por exemplo, a troca da localidade de alguns equipamentos de redes pode resultar em uma economia significativa de energia, contanto que atenda à perda de energia que ocorre no transporte e resfriamento dos dispositivos eletrônicos.

A reformulação da arquitetura da rede resulta na economia de energia, requisito das redes verdes. Mas existem outras vantagens da operação em nuvem, como as facilidades na manutenção e o melhor balanceamento de carga. No caso da banda larga móvel, a comunicação entre as estações rádio base é feita por meio de processos de software que são executados em um conjunto de processadores co-localizados. Com isso, as ações são mais rápidas e evita-se a implantação de enlaces dedicados entre estações rádio base.

O estudo das redes verdes é uma tendência por parte das operadoras de serviços celulares que buscam meios de responder à nova demanda de recursos ao mesmo tempo em que minimizam os gastos.

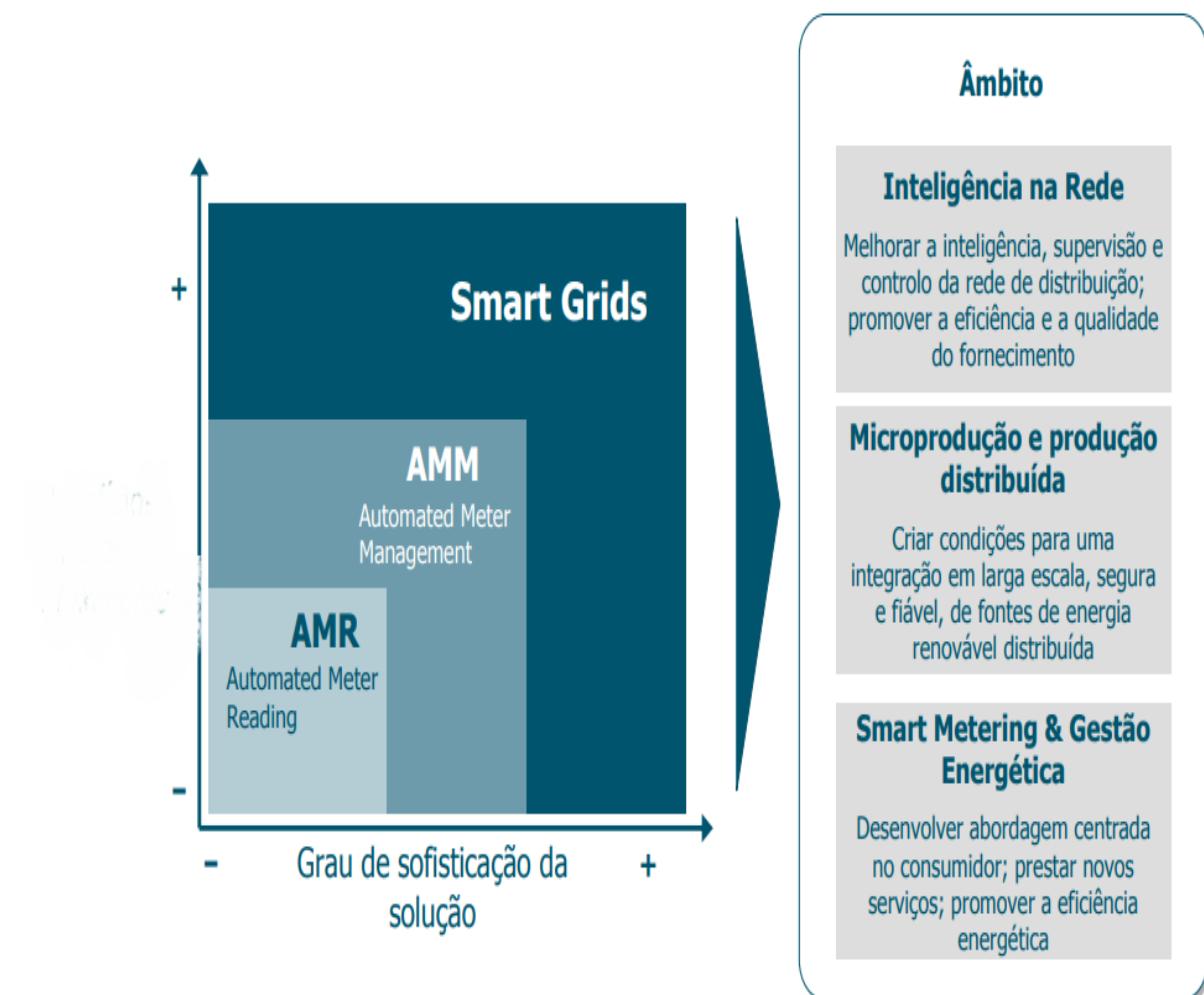
A implementação inicial de uma rede inteligente que, normalmente, possibilita um melhor funcionamento de nossa rede elétrica, em termos de controle de , controle de reação e alocação eficiente de energia residual, resulta em “rede mais verde”, com economias energéticas e menores emissões de dióxido de carbono, isto é, a rede verde de energia elétrica. (BASSET, 2010).

As redes verdes procuram maneiras de diminuir a emissão de dióxido de carbono por meio da otimização da infraestrutura, voltada para a eficiência energética. Isso pode acontecer ou pela escolha de uma arquitetura de nuvem ou pela eficiência dos amplificadores de potência.

2.2.2 Smart grid

O setor de energia elétrica passa por uma mudança de paradigma com as redes elétricas inteligentes (REIs), ou smart grid (SG). O objetivo das redes elétricas inteligentes é otimizar a produção, a distribuição e o consumo de energia. Com isso, viabiliza-se a entrada de novos consumidores e fornecedores na rede. Uma rede elétrica que se caracteriza pelo uso de tecnologias de informação e comunicação pode oferecer melhorias importantes na gestão, monitoramento, automação e qualidade da energia oferecida.

Figura 3 - Benefícios do Smart Grid para os Stakeholders

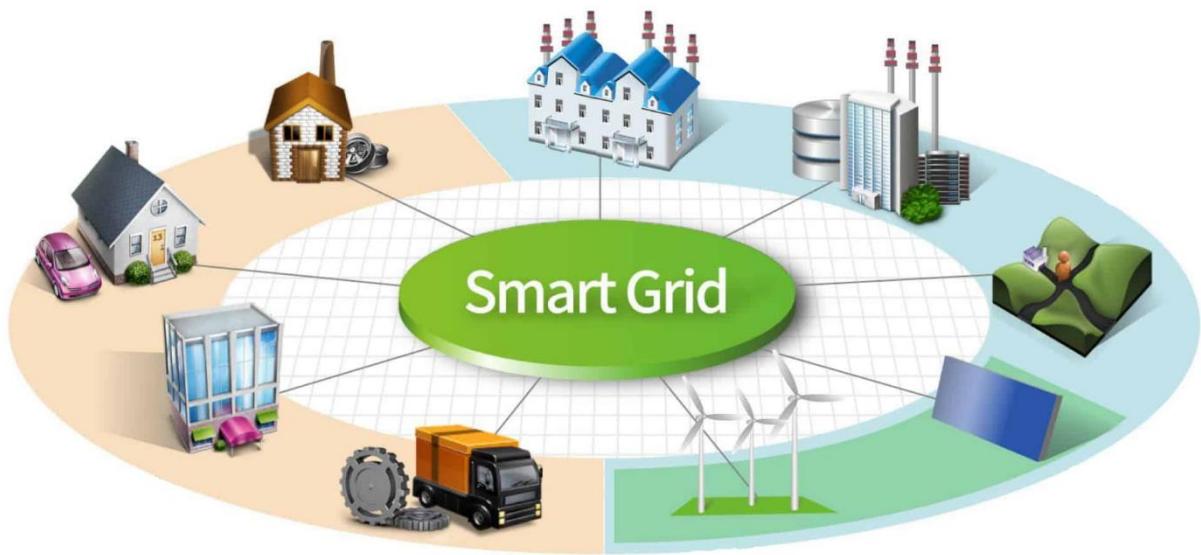


Fonte: Messias (2009)

A busca por sistemas cada vez mais robustos, eficientes e integrados, assim como já discutido, se mostra como um dos maiores responsáveis pelo desenvolvimento tecnológico.

Semelhantemente, quando sistemas de energia elétrica estão em discussão é difícil imaginar um progresso no setor elétrico sem o conceito de Smart Grids.

Figura 4 - Modelo de Smart Grid



Fonte: Mentors (2013 apud Alonso, 2014)

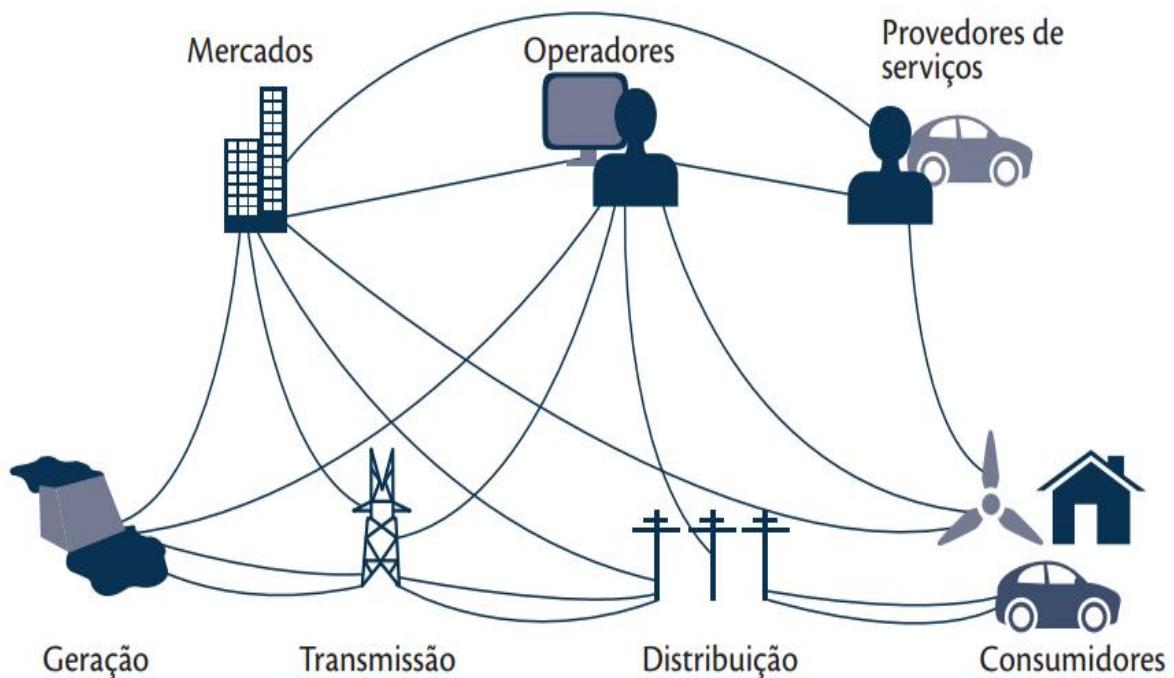
O serviço prestado pelo sistema elétrico é essencial à humanidade. Houve aumento no uso de equipamentos elétricos e eletrônicos, mas a indústria de energia elétrica não acompanhou esse aumento de demanda no consumo de eletricidade. Por isso a rede tem buscado atender aos desafios energéticos, passando por diversas transformações, como mudanças na estruturação da rede – para que ela se torne mais eficiente, confiável e segura.

Os Smart Grids no Brasil não são mais avançados devido às limitações existentes e à falta de legislações brasileiras específicas que tornem legal e mais abrangente a implementação e estudos na área.

As primeiras discussões a respeito das redes inteligentes trouxeram a proposta de um projeto de legislação no setor, sendo dividido em duas etapas : primeiramente, a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica seria responsável pela regulamentação dos smart meters, medidores inteligentes, definindo especificações e características técnicas para que os equipamentos sejam produzidos e/ou utilizados em solo brasileiro. Em uma segunda etapa, o processo legal da integração com serviços de tecnologia da informação, monitoramento e controle concluirá a formação básica da estrutura de projetos. Entretanto, a primeira etapa que estava prevista para 2011, através da Audiência Pública ANEEL 043, teve postergações devido a discussões sobre o preço de mercado dos medidores, e posteriormente, projeções

foram feitas para que investimentos de altas proporções em projetos de redes inteligentes de energia de grandes dimensões se tornem realidade entre os anos de 2013 a 2020 (OLIVEIRA; SOARES, 2012).

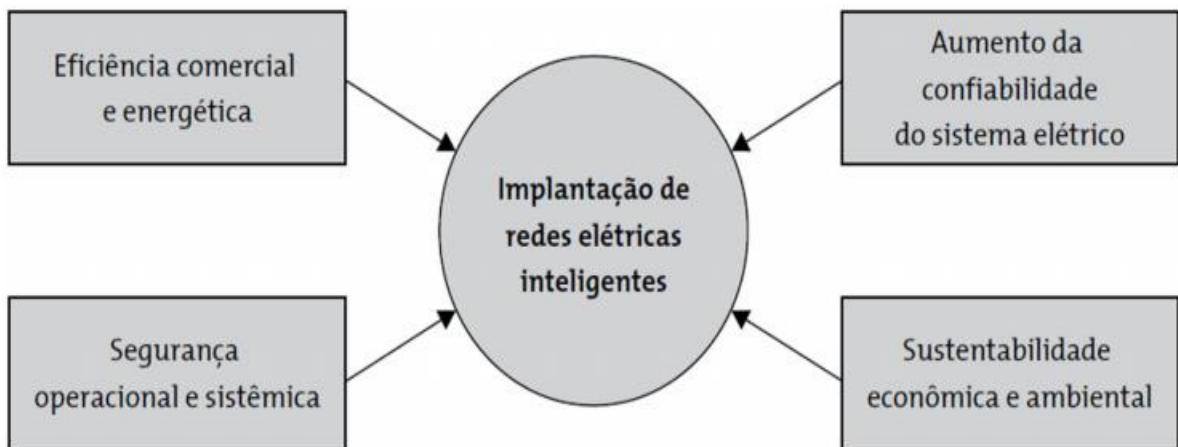
Figura 5 - Modelo conceitual de rede inteligente



Fonte: NIST (2009)

Conforme Heydt (2009), são necessários altos investimentos para atender a demanda por energia de forma tradicional. Nesse sentido, as redes de energia inteligente aparecem como uma alternativa, já que trazem a possibilidade de cogeração, geração distribuída, automação residencial, predial, industrial e comercial, veículos elétricos, medição online e armazenamento de energia. Cada país apresenta uma motivação para a implantação das REIs. Pode-se implantar esse tipo de rede por preocupação com a eficiência do sistema, confiabilidade e segurança – como nos Estados Unidos –, ou por tentativa de integração de diferentes fontes de energia renovável – como na Europa –, ou, ainda, por diversificação na matriz energética – como no Japão, que recentemente passou por acidentes nucleares). Ou, simplesmente o país pode estar buscando maior eficiência energética, como é o caso da China. No Brasil buscou-se a sustentabilidade econômica e ambiental que o Smart Grid poderia oferecer, junto com a necessidade de melhoria na confiabilidade no sistema elétrico, maior segurança operacional e eficiência energética e comercial.

Figura 6 - Motivações para implantação de Smart Grid no Brasil



Fonte: BNDES (2013)

Atualmente, a transmissão de energia trabalha em via única, ou seja, sai da central geradora e vai até o cliente consumidor. Nesse formato, as redes precisam trabalhar continuamente, uma vez não é possível conhecer a real demanda de cada cliente-consumidor.

Por meio da tecnologia Smart Grid, as redes de energia comuns podem se tornar redes de energia inteligentes. Os benefícios desse tipo de tecnologia são: possibilidade de acompanhamento constante do consumo individual na rede, possibilidade de identificação mais rápida das irregularidades na rede, maior sustentabilidade no negócio, com a diminuição dos GEE e outros poluentes, além do grande impacto nos custos operacionais, já que as informações passam a ser encaminhadas automaticamente e em tempo real. O “smart grid” monitora em tempo real o balanço de carga, supervisão a rede elétrica e a qualidade da energia; analisa perdas tanto técnicas quanto comerciais; avalia locais adequados para a instalação de pontos para a geração distribuída e faz o prognóstico para o planejamento da rede, além de possibilitar a criação de novos serviços. (PASCALICCHIO, 2011, p. 08).

Os sensores inteligentes, unindo a automação de processos, protocolos e equipamentos à tecnologia, podem medir a qualidade da energia, proporcionando tanto o envio quanto o recebimento de informações em tempo real. Com essa tecnologia, a parte operacional será significativamente melhorada, e poderão ser ofertados novos recursos de redução da taxa de desperdício de energia. Apesar de tantos benefícios, o smart grid ainda encontra alguns obstáculos para sua implementação em larga escala.

A principal dificuldade para a disseminação do smart grid é o custo. O investimento necessário em infraestrutura de telecomunicações e sistemas de informação é bastante alto para as concessionárias. O sistema em larga escala necessita de três pilares que são a base

do Smart Grid: os sistemas de sensoriamento, telecomunicação e processamento. A Aneel estima que a substituição seja feita à longo prazo, prevendo até dez anos para a conclusão. Existem nove no Brasil em fase de implantação e teste, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Amazonas, Ceará, Pernambuco e Paraná (ANEEL, 2016).

2.2.3 Energia fotovoltaica

Uma fonte inesgotável de energia é a solar. Estima-se que o planeta Terra receba por ano $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar. Essa quantidade equivale a 10.000 vezes o consumo mundial anual de energia. Esse dado aponta para o potencial de uso desse tipo de energia através de sistemas de captação e conversão. Edmund Becherel, filósofo francês naturalista experimental, em 1839, realizou um teste com dois eletrodos de metal e solução aquosa. Ali demonstrou a possibilidade de conversão de radiação luminosa em energia elétrica, sendo pioneiro no conhecimento sobre o efeito fotovoltaico. Depois dele, outros descobriram a fotocondutividade, como Wiloughby Smith, em 1873, e Adams e Day, em 1876, na Inglaterra. Em 1883 surge “a primeira célula solar produzida com selênio, apresentando uma eficiência de conversão de aproximadamente 1%” (FADIGAS, 2000, p. 23).

Os investimentos em pesquisas relacionadas à energia solar estiveram conectados com empresas do setor de telecomunicação – buscavam fontes de energia para os sistemas em locais remotos, onde dificilmente haveria energia elétrica -, e com a “corrida espacial” – pesquisando a célula solar como meio de fornecer energia para as missões no espaço e também manter satélites em órbita.

Para a produção de energia elétrica, a energia fotovoltaica é a que tem a melhor aplicação. A energia fotovoltaica pode ser usada nos serviços de telecomunicação, uma vez que pode ser usada para que os serviços de telecomunicação sejam sustentáveis. Ainda, pode melhorar a propagação dos sinais de telecomunicação, proporcionando menor interferência e aprimoramento do sinal.

Figura 7 - Energia solar fotovoltaica



Fonte: Reis (2019)

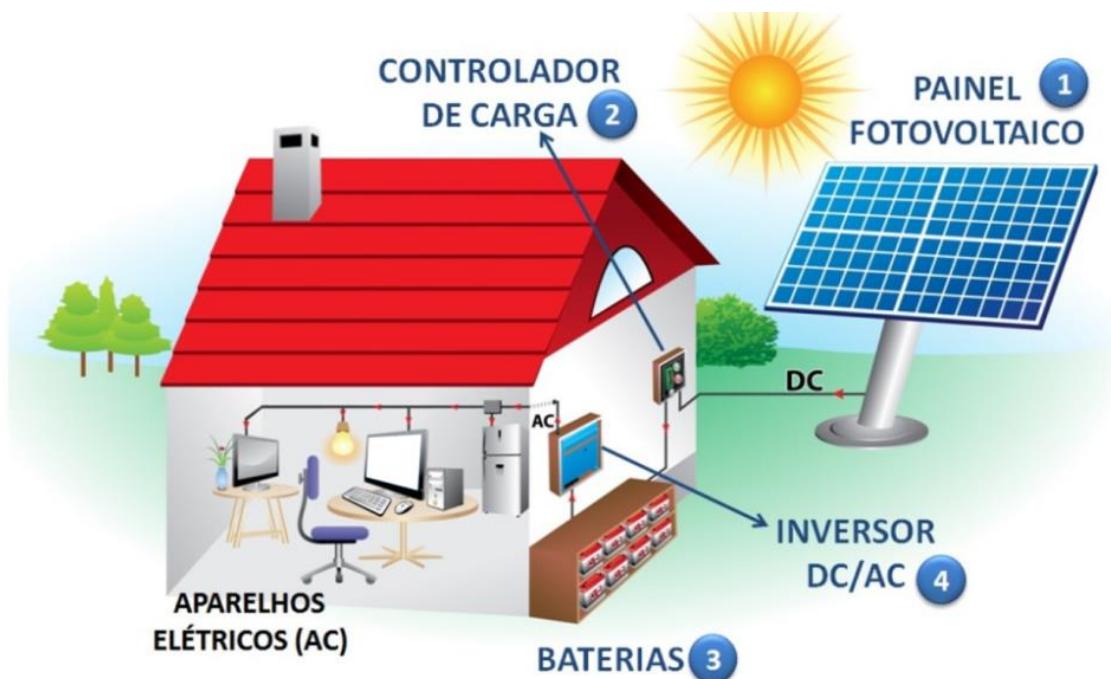
A energia solar é uma tecnologia adequada para regiões com alto nível de insolação e que tenham necessidade de produção remota de eletricidade. Estima-se que apenas 1% da superfície dos desertos mundiais seria capaz de atender ao consumo mundial de eletricidade. O uso da energia solar fotovoltaica tem crescido em diversos países, pois é uma fonte abundante e inesgotável.

Uma característica exclusiva da energia fotovoltaica em comparação a outras fontes de energia é que ela pode ser usada em todas as localidades, produzindo energia elétrica no ponto de consumo. Assim, não há a necessidade de levar a eletricidade de um ponto a outro por meio de redes de distribuição ou linhas de transmissão.

Dada a dependência desse sistema da energia da luz solar, ele deve funcionar como um sistema complementar à energia elétrica. Em situações de máxima intensidade de luz solar, a quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico excede o necessário para o consumo local, por isso pode ceder esse excedente para a concessionária. Em situações inversas, quando há baixa ou falta de incidência solar, o sistema pode readquirir da rede da concessionária a energia anteriormente fornecida. Trata-se de um sistema de compensação de energia. (JOVIC, 2016). Além de contribuir para uma matriz energética limpa e diversificada

e criar empregos e renda, as fontes renováveis de energia tem um papel significativo na universalização do serviço de energia elétrica. A capacidade dos modelos e tecnologias atuais é limitada quando o assunto é atingir os consumidores isolados e dispersos, principalmente nas regiões Nordeste e Norte do país. O aproveitamento da energia solar fotovoltaica, da biomassa, e de pequenas quedas d'água representam soluções adequadas e competitivas para localidades isoladas onde a única solução é o uso de grupos geradores a diesel, amplamente conhecidos pelo seu alto custo de operação e manutenção e seu potencial de poluição local e global. (TOLMASQUIM, 2003).

Figura 8 - Telecom abastecida com sistema fotovoltaico



Fonte: Neosolar (2018)

Muitas empresas de telecomunicações começaram projetos e estão dedicando mais atenção para a produção própria de energia. A energia solar fotovoltaica ganha espaço nesse ramo, pois pode ser produzida nos locais em que há maior demanda dos serviços de telecomunicações. Isto é, pode-se gerar energia solar fotovoltaica nas cidades, justamente onde estão as redes de telecomunicações, o maior número de usuários e seus centros de processamento e transmissão (BANDEIRA e YUZO, 2017).

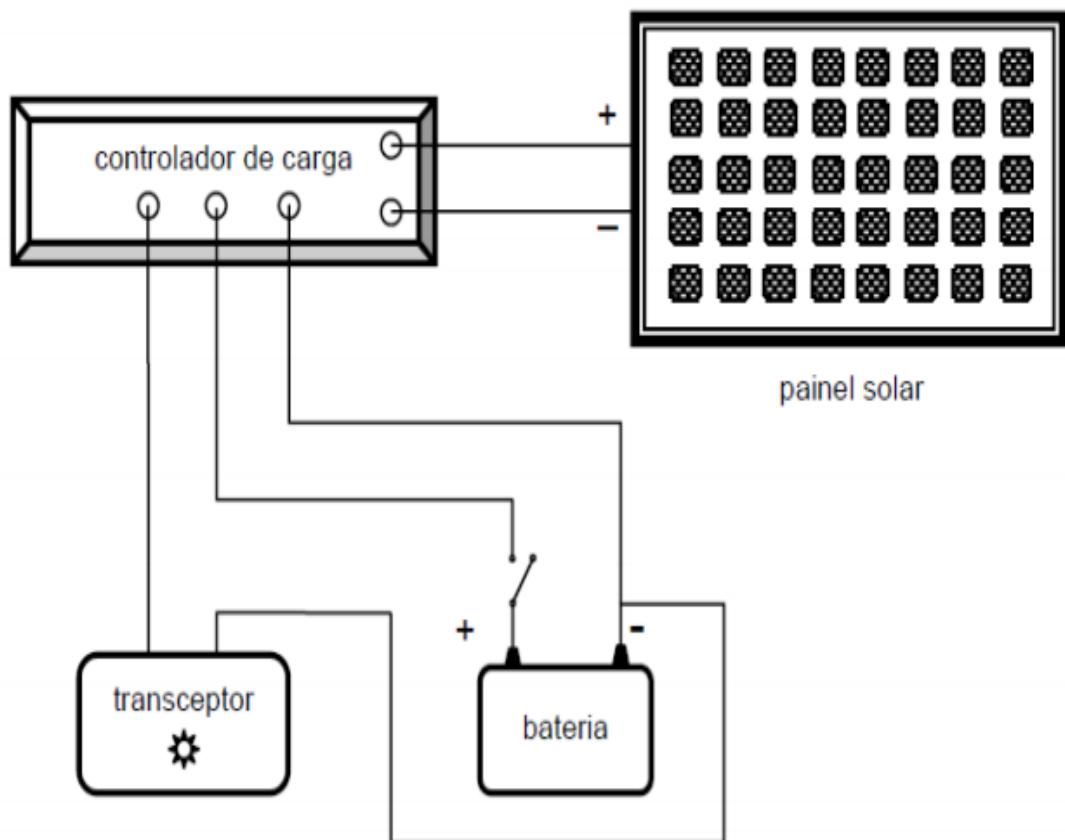
Figura 9 - Estação de telecomunicação alimentada por sistema fotovoltaico



Fonte: Alvarenga; Lobo (2000)

Atualmente, os sistemas fotovoltaicos são indicados para estações de telecomunicação isoladas, em locais com baixo consumo de energia elétrica e que necessitem de confiabilidade e baixo nível de manutenção. Não há a necessidade de construção de linhas de transmissão com o sistema fotovoltaico, além de a confiabilidade ser maior, já que as interrupções por acidentes ou defeitos na linha elétrica são reduzidas.

Figura 10 - Sistemas de telecomunicações com módulo solar



Fonte: Farret (2010)

Os sistemas fotovoltaicos para telecomunicação são compostos pelos seguintes elementos:

- Conjunto de módulos solares ou painéis solares;
- Baterias;
- Controlador de carga;
- Inversor;
- Estruturas metálicas;
- Material elétrico e proteções;
- Equipamentos de telecomunicações;
- Em todos os casos o equipamento escolhido deve ter certificação de qualidade nacional e internacional.

Conforme reportagem do Valor Econômico, baseado no relatório Mapeamento da Cadeia de Valor da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – realizado pela Cela (Clean Energy

Latin America), contratado pelo Sebrae, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e Organização dos Estados Ibero-americanos (OEI) –

A energia fotovoltaica tem batido recordes de queda no valor de investimento e aumento de eficiência na conversão de energia solar em eletricidade. Entre 2009 e 2016 o custo de produção da energia fotovoltaica caiu mais de 80%, fazendo com que seu custo atingisse a paridade tarifária em 44 distribuidoras ao final de 2016, representando 75% dos consumidores brasileiros de baixa tensão. E a expectativa é que caia mais 60% até 2040. Além disso, aumentos nas tarifas elétricas para o consumidor têm reforçado a competitividade solar. (RAMOS, 2017³).

2.3 Eficiência energética em redes celulares

2.3.1 Redes celulares

A partir da necessidade de comunicação entre pessoas em trânsito surge a comunicação celular. Por meio de um aparelho de telefonia que pode ser carregado para qualquer lugar, as pessoas são capazes de estar em contato entre si em qualquer momento. A essa unidade móvel de telefonia dá-se o nome de aparelho celular, e a rede responsável por fornecer os serviços para esses dispositivos é denominada rede celular (CARMINATI; COSTA, 2013).

A comunicação dos aparelhos celulares, via ondas eletromagnéticas, se dá através de antenas localizadas no topo das torres (ERB - Estação Rádio Base). Em alguns casos, as antenas das ERBs são instaladas nos topes dos edifícios, podendo a torre ser substituída pelo edifício para a sustentação das antenas. Em outros casos, são instalados em ambientes fechados, dentro de shoppings e edifícios, sendo chamados de ERB indoor. Estas ERBs são imprescindíveis para um telefone celular poder operar, fazendo a intercomunicação com uma Central de Comutação de Controle (CCC). É na CCC que ocorrerá a conexão entre os usuários com as demais operadoras, celulares ou fixas, quando a ligação é completada (SANTOS, 2006, p.10).

O aumento da rede de celulares significou também uma maior demanda de energia, uma vez que desencadeou uma expansão na infraestrutura de redes. O resultado disso é a

³ Disponível em: <<https://valor.globo.com/opiniao/coluna/salto-dos-investimentos-em-energia-solar-fotovoltaica.ghtml>>

maior emissão de gases de efeito estufa, o que representa grande ameaça ao meio ambiente. Além disso, representa impactos no custo operacional dos operadores de redes celulares.

Com a popularização de smartphones (Androids e IOs), e de tablets (iPads, Kindle), e o sucesso das redes sociais (Facebook, Twitter, Instagram, entre outras), a demanda por tráfego de dados aumentou. Em 2016 houve um aumento de 63% no tráfego de dados móveis, o que significa um aumento também no consumo de energia. O incremento na demanda de tráfego de dados móveis ocorreu por causa do barateamento de algumas tecnologias usadas, melhorando a capacidade de tráfego, o que tornou os preços mais acessíveis.

Com o crescimento da preocupação com danos ambientais (especificamente com a emissão de GEE e esgotamento das fontes de energia não renováveis), estudos têm sido feitos para minimizar o enorme consumo de energia nesses sistemas, de modo que no futuro não haja consequências mais graves para a expansão das redes de celulares.

Segundo Nascimento (2015, p. 275):

Durante a última década, houve um enorme crescimento no mercado de redes celulares e, no que tudo indica, esse setor continuará crescendo a um ritmo acelerado para atender à crescente demanda dos usuários móveis por conteúdos multimídias, garantindo-os acesso ubíquo com altas taxas de transmissão. Esse aumento no número de usuários e da demanda de tráfego celular dá-se basicamente pela introdução de um grande volume de dispositivos móveis e ao seu barateamento. A expansão na infraestrutura de redes, em virtude desse aumento, desencadeou o crescimento na demanda de energia impactando diretamente no custo operacional dos operadores das redes celulares e no aumento do gás de efeito estufa (GEE).

Devido a isto, é cada vez mais importante fazer uma otimização do consumo de energia na rede do operador. A eficiência energética começa a ser um dos pontos de maior investigação, não só na área das redes móveis, como também em outras áreas. Sendo assim, podemos considerar que este é um tema bastante relevante para o futuro próximo tanto ao nível tecnológico como ao nível financeiro para as operadoras (FERREIRA, 2014).

Motivados pela busca de vantagens financeiras, mas também por preocupações ambientais, tem-se estudado mais recentemente a aplicação da eficiência energética nas estações bases das redes celulares. A despeito desse novo ramo de estudos, já há algum tempo há estudos sobre a eficiência energética nas redes sem fio. (NASCIMENTO, 2015).

As tecnologias usadas hoje em dia, mesmo considerando as melhores projeções para a melhoria da sua eficiência energética, serão insuficientes para melhorar a taxa de consumo de energia a longo prazo. Ao mesmo tempo, os níveis de energia associados aos

componentes subjacentes às tecnologias existentes das redes de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) (arquitetura, par de cobre, fibras ópticas, wireless, eletrônica, roteamento, etc.), ainda são de magnitude muito abaixo dos atuais níveis operacionais (SILVA, 2015, p. 23-24).

Considerando, por um lado, o crescente consumo de energia das redes móveis, impulsionado pelo aumento do número e da complexidade das estações de base, e por outro lado, considerando o constante aumento dos custos de energia, torna-se claro que este será um ponto fundamental a ser considerado pelos operadores de telecomunicação móvel, devido à elevada contribuição para as suas despesas operacionais (FEHSKE et al., 2011).

Os elementos internos da rede de celulares têm características e exigências distintas do hardware de propósito geral, por isso para que haja economia de energia são necessárias tecnologias e critérios de redes específicos.

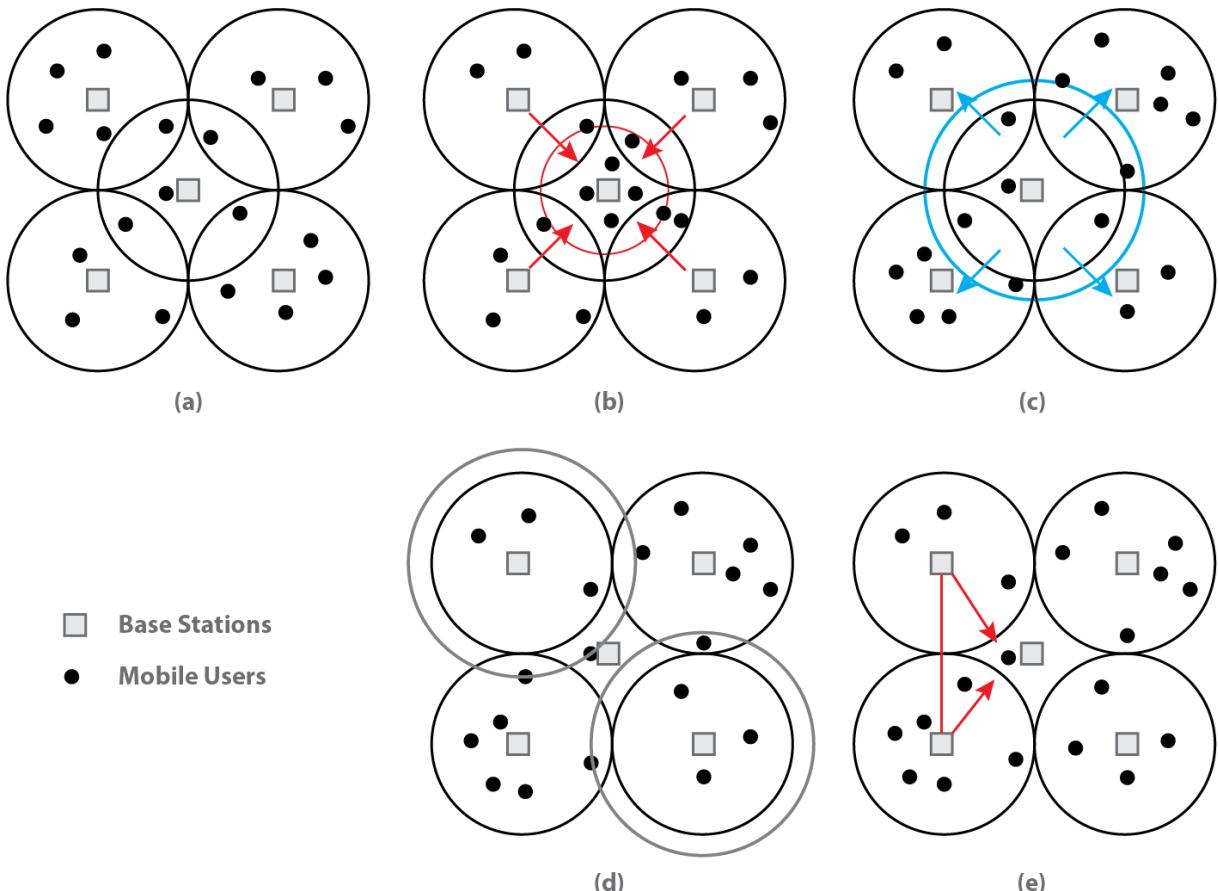
Tendo em vista que atualmente cerca de 80% da potência utilizada nas telecomunicações móveis é consumida na rede de acesso rádio, mais especificamente, nas estações base, devem ser levadas em consideração duas formas gerais de otimizar a eficiência energética. Em primeiro lugar, para otimizar a rede já existente, por exemplo, através da utilização de componentes de hardware mais eficientes e adaptáveis à carga, bem como módulos de software. Em segundo lugar, por meio de estratégias de implementação melhoradas, reduzindo, por exemplo, o número de sites necessários na rede para cumprir as métricas de desempenho, como cobertura e eficiência espectral (FETTWEIS; ZIMMERMANN, 2008).

2.3.2 Cell zooming

O consumo de energia tornou-se uma das questões mais importantes do mundo, pois as emissões de carbono das fontes de energia têm grande impacto negativo no meio ambiente e o preço da energia também está aumentando. Os operadores estão pensando em como reduzir o consumo de energia e criação de redes celulares verdes (LOUHI, 2007).

Essa técnica viabiliza o controle da rede e de sua topologia. Isso ocorre pois é possível diminuir ou aumentar o alcance das células, ou até mesmo coloca-las em sleep mode, ou seja, totalmente inativas. Assim, o cell zooming é mais do que uma técnica de adaptação dinâmica, mas uma abordagem de standby/sleeping.

Figura 11 - Funcionamento do cell zooming nas células



Fonte: [Niu et al \(2010\)](#)

A técnica de Cell Zooming consiste em fazer com que o servidor distribuído faça escolhas de modo automático na área de cobertura que deve expandir ou encolher. Apesar dessa automatização, ela não é o maior problema dessa técnica.

Os usuários de celulares estão espacialmente distribuídos de forma assimétrica dentro da grade. Essa assimetria na distribuição, faz com que algumas células fiquem sobrecarregadas de usuários, onerando os recursos da rede.

Uma vez que o gerenciamento Cell Zooming começa a atuar, encolhendo e expandindo de acordo com o meio, as células sobrecarregadas acabam por diminuir sua potência de atuação, diminuindo o trabalho. Para ajudar os usuários que estão fora das células, as outras, nas imediações do usuário, aumentam a potência de transmissão. O sistema ocorre de modo a nenhuma ERB se sobrecarregue.

O usuário inicia sua chamada, a conexão é feita pela ERB que possui maior potência recebida no seu aparelho. Porém, o aparelho do usuário recebe sinal de outras ERBs e nesse

momento o gerenciamento opera fazendo com que o usuário se reconecte com células de menor tráfego. Nesse momento, as células sobrecarregadas reduzem o volume de usuários e as ociosas aumentam, ocorrendo o Cell Zooming virtual, não precisando alterações de natureza física.

Dessa forma, o objetivo do Cell Zooming é economizar energia tendo uma abordagem focada na melhor divisão de recursos.

2.4 Eficiência energética em redes ad-hoc sem fio

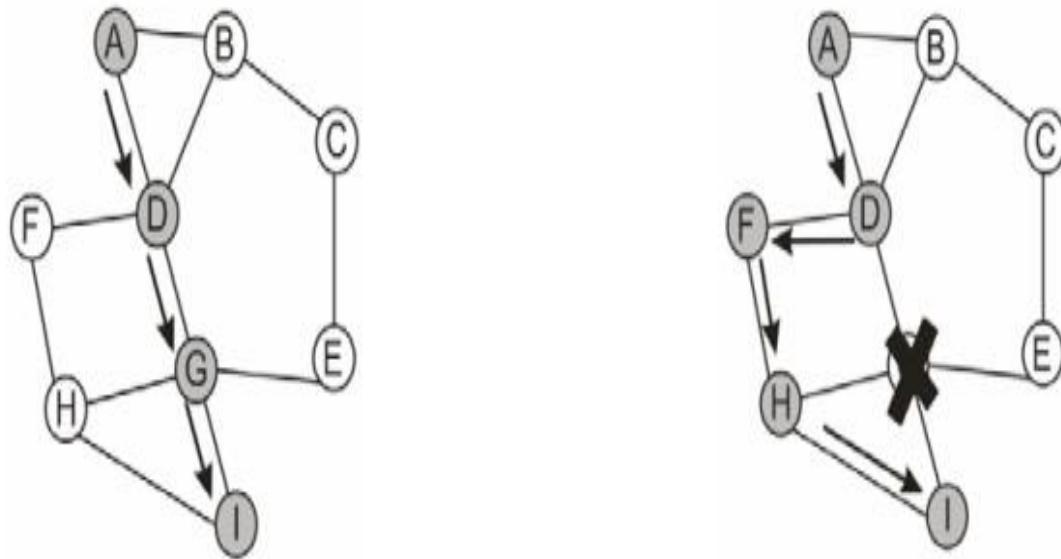
Redes de sensores sem fio ad-hoc são também conhecidas como modo “ponto a ponto”, ou seja, os dispositivos trocam mensagens por meio de múltiplos saltos, se conectando com outros dispositivos e não exigindo um ponto de acesso centralizado, uma vez que esses dispositivos são capazes de se auto organizar. Além disso, pode ser adotado diversos modelos de mobilidade e com custo baixo de implementação, porque não demanda de qualquer infraestrutura prévia para funcionar. Por exemplo: se configurar dois laptops no modo sem fio ad-hoc, eles iriam se conectar diretamente sem a necessidade de um ponto de acesso centralizado. Por outro lado, o problema observado nesse tipo de rede é o de roteamento. (LOO, 2016).

Segundo Melo (2013, p.04):

As redes ad hoc permitem a intercomunicação de dispositivos móveis ligados entre si para fazer a comunicação ao longo da rede independentemente de um ponto centralizador que coordena o compartilhamento do canal entre os usuários, como acontece no modo infraestrutura. Neste tipo de rede cada nó atua como um roteador, executando funções relacionadas à descoberta e escolha das melhores rotas para diferentes destinos e participando no repasse de pacotes de dados em trânsito pela rede. Na rede ad hoc, cada dispositivo deve ser capaz de tomar decisões de roteamento para alcançar o equipamento de destino caso o dispositivo não esteja no seu raio de alcance.

Em termos de arquitetura, em uma rede sem fio ad hoc os nós funcionam ora como cliente, ora como servidor. Em uma rede de sensor, portanto, por questões de limitação de memória e de capacidade computacional, os dispositivos apenas captam as informações do fenômeno que estão monitorando e, através de uma interface sem fio, as encaminham para uma estação-base (AKYILDIZ et al., 2002).

Figura 12 - Roteamento redes ad hoc



Fonte: Mucha (2013)

Enquanto as redes de sensores sem fio estão em interação com o ambiente, as redes ad hoc se ambientam com os dispositivos como notebooks e terminais de rádio móveis. Em situações com limitações de infraestrutura de comunicação de dados, ou elétrica (desastres naturais, por exemplo), as redes wireless ad-hoc podem ser utilizados para formar uma rede temporária. É precisamente o significado de rede ad-hoc sem fio, trata-se de uma coleção de dispositivos, chamados de nós ou terminais, que podem estabelecer uma rede de comunicação entre si. Nesse caso, obriga-se os nós a cooperar entre si a fim de viabilizar a comunicação entre nós distantes. Esta topologia é conhecida também como rede wireless Ad-Hocmultihop (MINH et al.,2014; BROCH et al.,1998).

Segundo Cunha et al (2004, p. 39):

Um fator crítico na operação das redes ad hoc é o consumo de energia dos nós. Tipicamente, nós ad hoc são dispositivos sem fio, alimentados por baterias cujas capacidades de armazenamento são limitadas por restrições de volume e peso dos equipamentos. Por isto, é importante reduzir o consumo de energia dos nós. Além disso, as redes ad hoc funcionam sem nenhuma infraestrutura pré-estabelecida, obrigando os nós a cooperar entre si a fim de viabilizar comunicações entre nós distantes. Assim, a desativação de um nó por falta de energia pode prejudicar o funcionamento de toda a rede. Desta forma, a economia de energia é importante para um nó, isoladamente, mas também para a rede como um todo.

Embora sejam parecidas em termos de conceitos, é importante destacar algumas das principais diferenças entre as redes sem fio ad-hoc e de sensores. Como pode ser visto na Figura 12, em uma rede ad-hoc, o número de nós geralmente é menor do que em uma rede de sensores. Por outro lado, as RSSFs têm um maior número de nós e os sensores estão mais propensos a falhas pois, além de serem lançados em regiões remotas, suas baterias não são substituídas (AKYILDIZ et al., 2002).

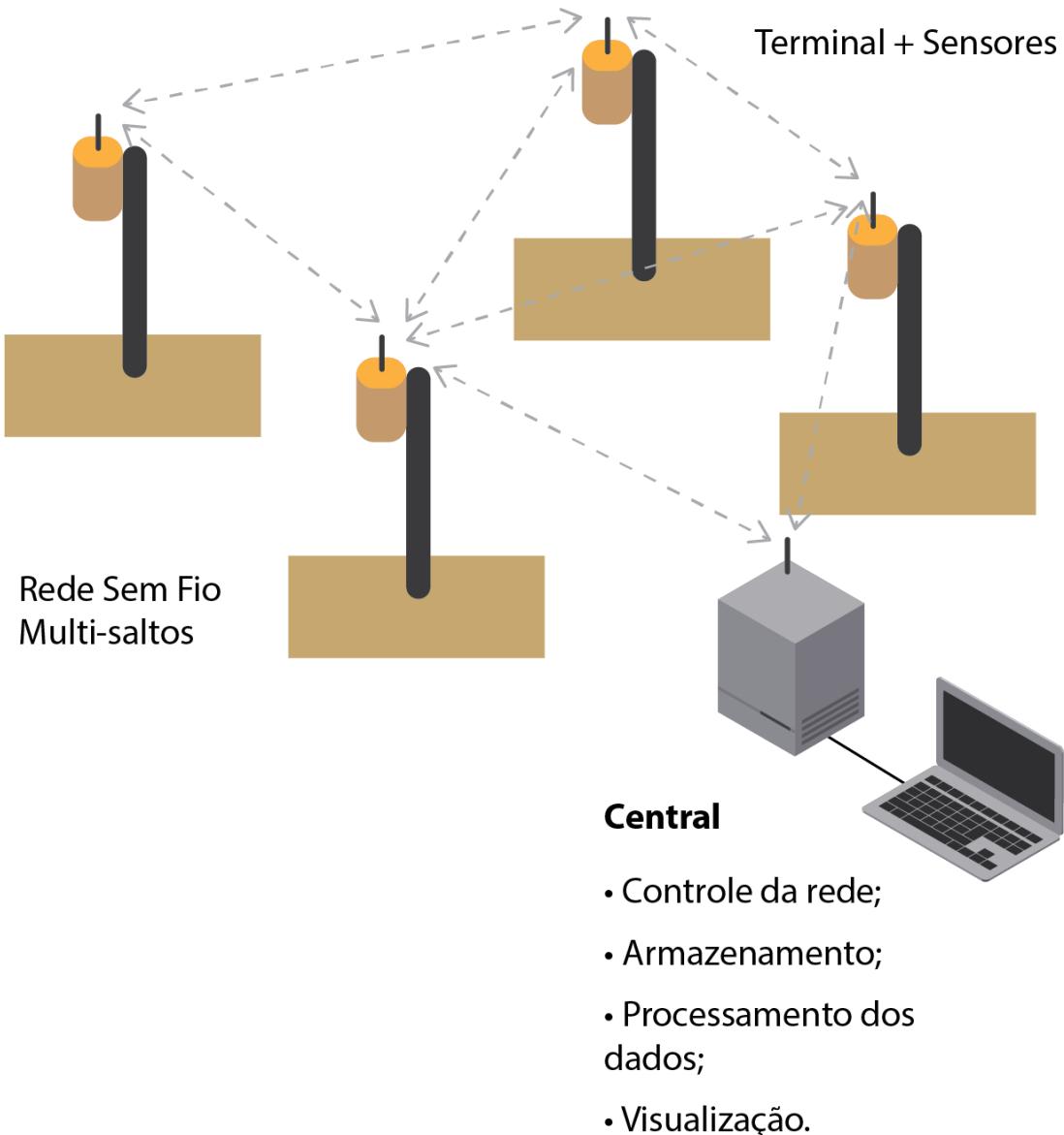
Então, RSSFs tratam de novos problemas e conceitos em relação às redes ad-hoc. Alguns deles como: localização, desenvolvimento e rastreamento, são assuntos fundamentais, em que muitas aplicações dependem para obter a informação necessária [9]. Muitas características das redes de sensores, tais como auto-organização, localização, mecanismos de endereçamento, serviços de binding, coleta de dados envolvendo problemas de cobertura de área e exposição, topologia dinâmica, arquitetura da aplicação, mecanismos de segurança e tráfego são desafios em relação aos sistemas distribuídos tradicionais, mas também podem fomentar novas oportunidades de pesquisa dentro da área de redes sem fio.

2.5 Eficiência energética em redes de sensores sem fio

Os sensores são nós em uma rede sem fio e são compostos de um ou mais dispositivos de instrumentação, recursos computacionais, componentes de comunicação (transceptores) e recursos finitos de energia (baterias). Os sensores trafegam informação via um canal de Rádio Frequência (RF), através de transceptores para outros nós da rede, através do roteamento de mensagens para outros nós até atingir o elemento central da rede (também chamado de sink). O sink serve como gateway entre a aplicação do usuário e a rede de sensores (KANDRIS et al. 2008).

Os nós são dotados de dispositivos sensores para mensurar os mais variados fenômenos, tais como: luminosidade, temperatura, pressão, ruído, aceleração, posição geográfica, radioatividade, componentes químicos, entre outros (KARL, 2005).

Figura 13 - Mostra uma arquitetura típica de uma RSSF



Fonte: Mignaco (2005)

Redes de sensores sem fio podem ser uma parte integrante de comando militar, controle, comunicações, computação, inteligência, vigilância, reconhecimento e sistemas de mira. A rápida configuração, auto-organização e tolerância a falhas são características de redes de sensores que as tornam uma técnica de sensoriamento muito promissor para uso militar. Uma vez que as redes de sensores se baseiam na implantação de vários nodos descartáveis e de baixo custo, a destruição de alguns por ações de forças hostis não afetam a operação militar tanto quanto a destruição de um sensor tradicional (NETTO, 2016, p. 03).

As RSSFs podem ser usadas em locais de falhas geológicas com o intuito de monitorar qualquer atividade sísmica que possa ocorrer, bem como em focos de queimadas para alertar um possível novo caso de incêndio. Além disso, elas também podem ser usadas na medicina,

monitorando, por exemplo, marca-passos; e têm funcionalidade para fins militares, detectando atividades inimigas em seus territórios (CANO, 2016).

Cada Rede de Sensores possui objetivos distintos com suas características próprias. Estas características intrínsecas a cada aplicação influenciam a arquitetura utilizada num projeto. Estes fatores podem incluir: tolerância a falhas; escalabilidade; custos de produção; ambiente operacional; sensores restrições de hardware; topologia da rede de sensores; meios de transmissão; e consumo de energia (AKYILDIZ et al., 2002).

De acordo com Shelke et al (2013), as RSSFs têm o intuito de observar e possivelmente controlar um determinado ambiente, normalmente sem intervenção humana direta em escala espacial ou temporal. Os nós sensores monitoram e coletam informações sobre fenômenos físicos (por exemplo, temperatura, umidade, vibração, aceleração, ou qualquer outro evento que seja de interesse ao observador), realizam processamento local e disseminam os dados usando a comunicação através de ondas de rádio, até que a informação seja entregue ao nó que solicitou os dados (BARROS, 2013, p. 01).

As mais importantes restrições nas RSSF são memória, largura de banda, energia e recursos computacionais. O fato de cada nó possuir um limitado suprimento de energia faz com que seja necessária uma otimização no seu consumo, para que a vida útil da rede aumente (NETTO, 2016). O maior dos problemas das RSSFs é o consumo de energia, fazendo com que alguns problemas de redes comuns que são praticamente irrelevantes, como retransmissão de dados, se tornem algo degradante para a vida útil do nó. Com isso, é importante que a transmissão seja concluída com sucesso. Um nó sensor não tem um ID global, o que torna a maioria dos protocolos de rede atuais inaplicável a RSSFs (ZAKARIA, 2012).

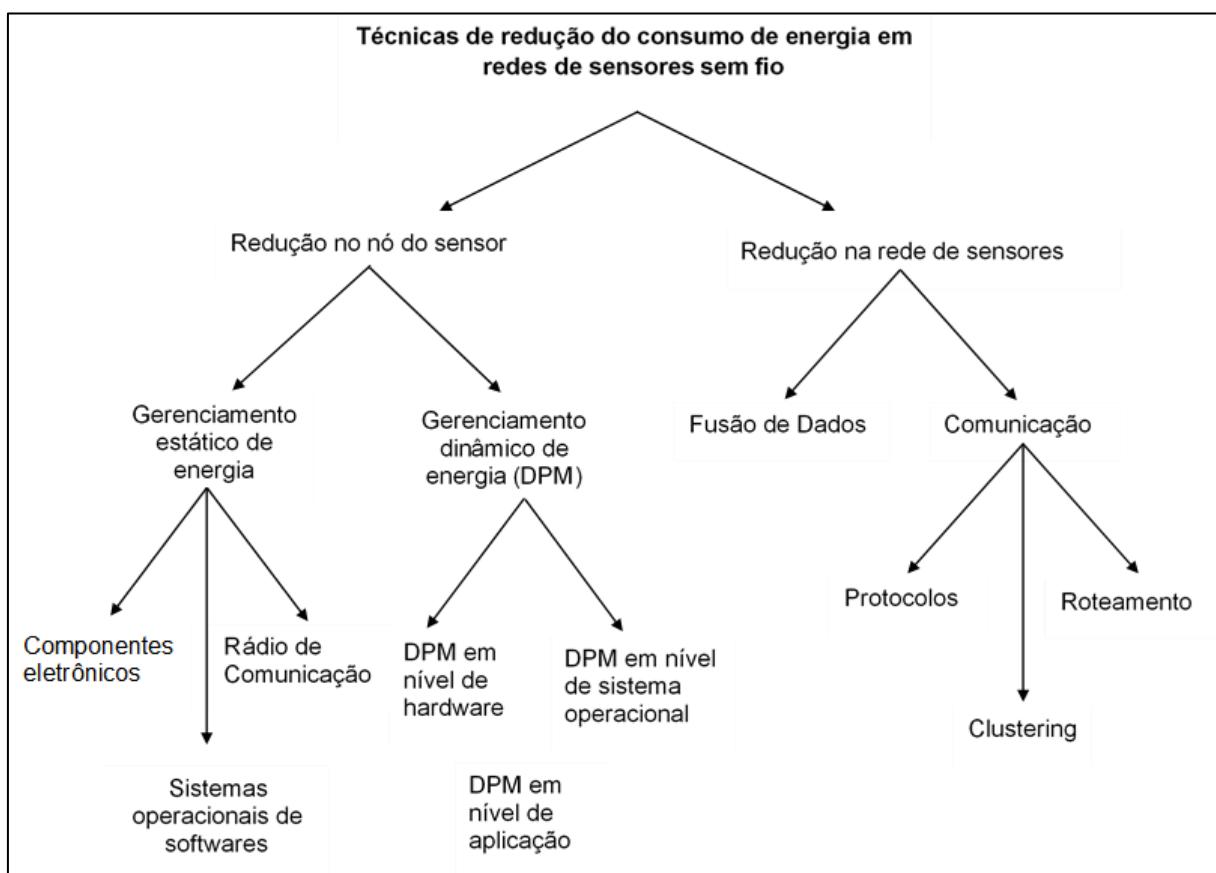
Embora uma rede de sensores sem fios apresenta muitos benefícios, o consumo energético continua a ser a sua maior limitação. Isso deve-se ao fato dos dispositivos sensores que formam uma rede de sensores sem fios serem alimentados por fontes locais que, na maioria dos casos, são baterias primárias. Consequentemente, nestes casos, os dispositivos irão operar apenas enquanto existir energia disponível nas baterias limitando assim, o tempo de vida útil da rede e isto leva a que a conservação de energia seja um fator crítico a ser considerado no projeto desta rede. Um outro inconveniente da utilização de baterias reside na necessidade de executar ações de manutenção para a substituição ou recarga de baterias exaustas, sendo dispendiosa, lenta e por vezes impraticáveis (KOMPIS; ALIWELL, 2008).

Como o consumo de energia é entendido como o principal fator a ser considerado nos projetos de RSSF, grande parte das pesquisas tem se direcionado para melhorar o tipo de transmissor e os algoritmos e métodos responsáveis por encaminhar as informações da rede de forma mais eficiente possível.

O grande problema dos equipamentos de rede, atualmente, é o consumo independente da carga de tráfego, ou seja, 80-90% da energia consumida é gasto assim que o equipamento (estação base) é ligado e o restante depende do tráfego. Isso significa que ligar algum equipamento para servir uma quantidade pequena de tráfego pode ser bastante oneroso do ponto de vista energético. Por essa razão, desligando alguns componentes da rede em período de baixa densidade de tráfego, desde que o nível desejado de Qualidade de Serviço (QoS) possa ser oferecido com componentes alternativos, permite uma redução no consumo de energia (NASCIMENTO, 2015, p. 276).

Os nós são dotados de dispositivos sensores para mensurar os mais variados fenômenos, tais como: luminosidade, temperatura, pressão, ruído, aceleração, posição geográfica, radioatividade, componentes químicos, entre outros (KARL, 2005). Quanto cada nó vai consumir de energia vai depender de fatores como: camada de enlace, natureza dos protocolos da camada física e a tecnologia de rádio usada.

Figura 14 - Técnicas de redução do consumo de energia- redes de sensores sem fio



Fonte: Kashani; Ziafat (2011)

Shelke et al. (2013), com o objetivo de conservação de energia em cada nó sensor, propõem uma técnica de gerenciamento dinâmico de energia (DPM). No DPM um algoritmo é responsável por desligar os componentes de cada sensor. Esse mecanismo resulta em um maior tempo de vida útil da rede e na eficiência energética.

Os protocolos de eficiência energética, por exemplo, é uma das técnicas de extensão da vida útil de uma rede de sensores. Essa técnica tem o objetivo de minimizar o consumo de energia durante as atividades da rede. Contudo, há ainda o consumo de grande quantidade de energia por componentes do nó, como CPU, por exemplo. Para desligar esses componentes do nós que estão ociosos, mas ainda gastam grande quantidade de energia, pode-se usar os sistemas de gestão de energia.

Para ter eficiência energética nas RSSFs, é preciso realizar uma análise das características de dissipação de energia de um nó sensor sem fio, dessa forma, encontram os gargalos de alimentação do sistema. Esses gargalos é que serão objeto de otimização.

Em redes de sensores sem fios, a tecnologia de RF suporta uma comunicação de baixo consumo, baixo custo e baixa complexidade. Nesse sentido, têm surgido protocolos de comunicação que vão ao encontro dos requisitos das redes de sensores sem fios, como o IEEE 802.15.4, o ZigBee, o Wireless HART, o ISA100.11a e o Bluetooth Smart (SEMEDO, 2015).

Os protocolos multicanais estão intimamente dependentes da arquitetura da RSSF utilizada. Estes protocolos permitem otimizar a maneira de uso do canal, aumentando a capacidade de transmissão da rede, usando vários canais distintos.

É possível classificar os protocolos multicanais em estáticos, dinâmicos e semi dinâmicos. Podendo essa classificação, ter relação com a frequência em que ocorre troca de canais na rede (INCEL, 2011).

Nos Protocolos Estáticos, não é preciso nenhum mecanismo de sincronização para ter a comunicação entre os nós enquanto a rede estiver em operação, não tendo sobrecarga com relação à troca de canais.

O problema observado nesse tipo de protocolo, eles não possuem a capacidade de se adaptar a variações nas características dos canais ao longo do tempo, uma vez que a alocação dos canais é feita apenas no momento da configuração inicial da rede.

Exemplo do protocolo: Tree-Based Multi-Channel (TMCP).

Nos Protocolos Dinâmicos, permitem o uso de muitos canais simultaneamente, com o objetivo de reduzir colisões através de estratégias de escalonamento que impedem que um mesmo canal seja usado ao mesmo tempo por nós que causam

interferência entre si. Nesses protocolos, precisam de um meio de sincronização que faz o transmissor e o receptor estejam no mesmo canal no instante da comunicação.

Há alguns problemas nesses tipos de protocolos, como para transmissão de pacotes em broadcast e para inclusão de novos nós na rede (INCEL, 2011).

Exemplos do protocolo: Wireless HART e ISA 100.

Por último, nos Protocolos Semi Dinâmicos, é o que está entre o estático e dinâmico, ocorrendo a troca de canais distintos, porém com menor frequência (SOUA; MINET, 2015). A mudança dos canais nessa modalidade de protocolo pode ser reativa a alguns eventos ou então de maneira periódica.

A abordagem tem finalidade para aplicações que precisam de uma grande taxa de transferência e também aplicações sensíveis ao atraso. Algumas vezes, os receptores são associados a canais fixos, e os transmissores trocam para o canal de cada receptor quando quer transmitir para ele (INCEL, 2011). Nestes Protocolos Semi Dinâmicos, um mecanismo de sincronização também pode ser necessário, caso tenha possibilidade de os canais dos receptores mudarem com o tempo.

2.6 Desafios futuros e oportunidades

São muitos os motivos para o fomento à eficiência energética e à geração de energia distribuída, envolvendo questões ambientais, econômicas, sociais e técnicas. Os agentes podem ser incentivados à inovação como resposta aos altos preços da energia ou da emissão de GEE. Os governos também podem incentivar a inovação por meio de programas e políticas tecnológicas que deem foco ao desenvolvimento de produtos mais eficientes energeticamente (por exemplo: carros híbridos e células de combustível). Entretanto, ainda há muito que se avançar quando o tema é eficiência energética. O ACEEE (do inglês, Conselho Americano para uma Economia Energeticamente Eficiente) realizou, em 2016, uma análise do desempenho e políticas energéticas dos 23 países que mais consomem energia em quatro principais frentes: esforços nacionais (governo), edificações, indústria e transporte. O Brasil ficou em 22º lugar. Foi implantada, em 2016, a estação celular alimentada por energia solar fotovoltaica, na cidade de Uberaba. O sistema, implementado pela empresa Algar Telecom, conta com 340 placas de captação de luz solar. A energia fotovoltaica é transformada em energia elétrica e serve ao funcionamento dos equipamentos de telecomunicações do site.

A empresa Vivo, em 2017, inaugurou o projeto Vivo Eficiência Energética. Realizado em parceria com a Schneider Electric e a Viridi Technologies, o programa utiliza a internet das coisas para controle e automação dos principais pontos de consumo de energia, garantindo,

assim, melhor gestão dos gastos e previsibilidade da fatura. A ideia é a atuação na medição em tempo real do consumo de energia, na setorização de consumos no pacote inicial. No pacote avançado, além dos serviços do pacote inicial, a atuação será direta na automação sobre os principais pontos de consumo. Isso ocorrerá através do uso de sensores e equipamentos nos ambientes, que vão ajudar na tomada de decisão depois da identificação do uso inadequado de energia ou de alto consumo.

A empresa Claro também se adaptou à eficiência energética. Em 2017 a empresa lançou o Programa A Energia da Claro. O Programa propõe a geração distribuída como proposta para o uso de energia limpa. Além disso, prevê a adoção de diversas iniciativas de proteção ambiental em suas operações e instalações no Brasil. A redução de gás CO₂ em um ano foi de 100 mil toneladas, o que equivale à retirada de 420 mil carros de circulação. Esse é o maior projeto de uma empresa privada de Geração Distribuída no Brasil, o primeiro realizado por uma empresa de telecomunicações. O Programa previa que a Claro utilizasse fontes renováveis diversas, como energia solar, eólica, cogeração qualificada, biogás e hidrelétrica, com uma meta de 80% de cobertura de energia em todas suas operações no país. Essa economia representaria 600.000 MWh/ano. O fluxo de energia proposto no programa é bidirecional, em que se gera energia limpa para as concessionárias e, em contrapartida, recebe-se uma compensação nas faturas mensais. Neste ano de 2019 a Claro, em parceria com a RZK Engenharia, construiu a maior usina de energia solar de Brasília, localizada em Ceilândia. Denominada de Complexo Solar Jequitibá, a usina possui capacidade de 5 MW instalada e fornecerá energia limpa para aproximadamente 340 estruturas operacionais da Claro, como lojas e prédios da operadora na região. Além disso, a empresa inaugurou o primeiro complexo de usinas em Minas Gerais, nos municípios de Buritizeiros e Várzea da Palma, ocupando 45 hectares, preveem gerar energia equivalente a uma cidade de 250 mil habitantes.

A eficiência energética foi tema de audiência pública na Comissão Senado do Futuro, em 2018. O foco eram os procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PEE). O Programa tem o intuito de promover o uso eficiente de energia em todos os setores da economia por meio de projetos que expressem a viabilidade econômica e importância da melhoria do consumo energético de equipamentos e em processos. Os projetos se dedicam desde a substituição de chuveiros elétricos por aquecimento solar, até substituição de lâmpadas e refrigeradores. Na esfera pública, o PEE atuou em diversas ações, como: implantação de sistemas de iluminação em semáforos e túneis, estruturação em prefeituras municipais da gestão energética e plantas de cogeração. No período de 1998 a 2016, o PEE promoveu uma economia de energia de 47,5 terawatts/hora (ANNEL, 2015).

No início de 2019 a Embratel lançou uma campanha para que as empresas possam realizar o gerenciamento energético. Com isso, podem ter melhor gestão e controle de gastos,

pois a solução Eficiência Energética Embratel possibilita o monitoramento do uso de energia. Empresas de diferentes portes e segmentos são público alvo dessa campanha, especialmente aquelas que estão em busca de modos alternativos de redução de gastos com energia - podem ser hotéis, instituições financeiras, empresas do varejo etc.

3 CONCLUSÕES

A partir da pesquisa desenvolvida, considera-se que o tema eficiência energética é de grande importância para todos os setores, destacando o setor de telecomunicação, que cresce vertiginosamente, sobretudo, pelo crescente aumento de uso de smartphones em todo o mundo.

Para responder ao objetivo principal do estudo, que foi analisar a relevância da eficiência energética, é possível observar que ela apresenta diversas vantagens, como a redução de custos com energia, redução dos níveis de emissão de gases de efeito de estufa, além da racionalização do consumo energético.

Com relação à eficiência energética voltada para a telecomunicação, verificou-se que é um aspecto muito importante para ser considerado pelas empresas, tendo em vista o aumento do consumo de aparelhos celulares nos últimos anos.

No que diz respeito às redes sem fio, os resultados da pesquisa apontam que existem há bastante tempo estudos para a eficiência energética nesse tipo de rede, voltadas especificamente para esses sensores sem fio e dispositivos móveis, devido às suas capacidades de energia limitada

Atualmente existem diversos sistemas e tecnologias voltadas para a eficiência energética, entre os quais foram citados no presente estudo a Rede Verde, que visa minimizar a emissão do GEE; o Smart Grid, que se refere a aplicação de novas tecnologias digitais e de comunicação nas redes de transmissão e distribuição de energia elétrica e, energia fotovoltaica, que utiliza a energia solar como fonte para converter em energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- ABOBOREIRA, Felipe L. **A importância do smart grid na rede elétrica de distribuição do Brasil.** XV SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, 2016. Disponível em:< <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/viewFile/4375/3023>>. Acesso em: 28 out. 2019.
- AKYILDIZ, I. F. et al. **Wireless sensor networks: a survey.** Computer Networks, [S.I.], v.38, n.4, p.393–422, 2002.
- ALVARENGA, Carlos Alberto; LOBO, Ailton R. **Sistemas solares de energia para telecomunicações.** 2000. Disponível em:< <https://www.solenerg.com.br/files/Manuscrito%20Cinintel.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2019.
- ANEEL. **Geração Distribuída.** 2016. Disponível em:< http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRed>. Acesso em: 27 out. 2019.
- ASSUNÇÃO, Juliano; SCHUTZE, Amanda. **Panorama e desafios da eficiência energética no Brasil.** 2018. Disponível em:< <https://climatepolicyinitiative.org/publication/panorama-e-desafios-da-eficiencia-energetica-no-brasil/>>. Acesso em: 27 out. 2019.
- BAJABER, F.; AWAN, I. Adaptive decentralized re-clustering protocol for wireless sensor networks. **Journal of Computer and System Sciences**, v. 77, no. 2, pp. 282–292, 2011.
- BAJAY, Sérgio et al. **Geração distribuída e eficiência energética.** 2018. Disponível em:< <https://iei-brasil.org/wp-content/uploads/2018/01/Gera%C3%A7%C3%A3o-distribu%C3%ADda-e-efici%C3%A3ncia-energ%C3%A9tica-Reflex%C3%B5es-para-o-setor-el%C3%A9trico-de-hoje-e-do-futuro.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2019.
- BARBOSA, V. Os 5 países líderes em eficiência energética. **Revista Exame.** 2016. Disponível em:< <https://exame.abril.com.br/economia/os-5-paises-lideres-em-eficiencia-energetica/>>. Acesso em: 16 out. 2019.
- BARRETTO, E. P. B. M. **Smart Grid: Eficiência Energética e a Geração Distribuída a Partir das Redes Inteligentes.** Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2018.
- BORGES, Leonardo. **Smart Grid: a rede elétrica inteligente.** 2018. Disponível em:< <http://autossustentavel.com/2018/08/smart-grid.html>>. Acesso em: 25 out. 2019.
- BROCH, J., MALTZ, D. A., JOHNSON, D. B., HU, Y.-C.; JETCHEVA, J. **A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols.** Em Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, ACM, 1998.
- CARMINATI, B. S.; COSTA, M. F. **Gerenciamento de potência em redes celulares sustentáveis de quarta geração.** Monografia (Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

CARMINATI, Bruno S.; COSTA, Marcelo Faleiros. **Gerenciamento de potência em redes celulares sustentáveis de quarta geração.** Monografia (Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

CISCO. **Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021.** 2017.

CROUCHER, M. Potential problems and limitations of energy conservation and energy efficiency. **Energy Policy**, v.39, p. 5795-5799, 2011.

CUNHA, Daniel de O. et al. Uma Análise do Consumo de Energia em Redes Ad Hoc. **Revista Científica Periódica – Telecomunicações**, v. 07, n. 01 - julho de 2004.

EPE. **Projeção de Demanda de Energia Elétrica.** 2016. Disponível em:< <http://www.epe.gov.br/pt>>. Acessado em: 26 out. 2019.

FEHSKE, A. et al. The Global Footprint of Mobile Communications: The Ecological and Economic Perspective. **IEEE Communications Magazine**, August 2011.

FETTWEIS, G.P.; ZIMMERMANN, E. **ICT energy consumption - trends and challenges.** In Proceedings of the 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Lapland, Finland, September 2008.

FRAIDENRAICH, N. **Tecnologia Solar no Brasil.** Os próximos 20 anos. Pernambuco. 2000. Disponível em:< <http://www.cgu.unicamp.br/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

HASAN, Z. et al. Green Cellular Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges .**IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 13, n. 4, pp. 524-540, 2011.

HASAN, Z.; Boostanimehr, H. and Bhargava, V. K. Green cellular networks: A survey, some research issues and challenges. **Communications Surveys Tutorials, IEEE**, v.13, n.4, p. 524-540, 2011.

INCEL, O. D. “**A survey on multi-channel communication in wireless sensor networks**”. Computer Networks, vol. 55, no. 13, pp. 3081–3099, 2011.

JANNUZZI, G. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos.** São Paulo: Autores Associados, 1997.

KOMPIS, C.; ALIWELL, S. Energy Harvesting Technologies to Enable Remote and Wireless Sensing. **White Paper**, Jun. 2008.

LEITE, A. A. F. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: setores com maior potencial de eficiência energética: sumário executivo.** CNI, Brasília, 2010.

LIU et al. **Building dependable next generation networks (ngns): A new bluegreen design philosophy.** In Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC), p. 1–6, nov. 2011.

LOO, J., MAURI, J. L. and ORTIZ, J. H. **Mobile ad hoc networks: current status and future trends,** CRC Press, 2016.

LOUHI, J.T. **Energy Efficiency of Modern Cellular Base Stations**. IEEE INTELEC '07, Rome, Italy, Sept. 2007.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2014.

MELAZZO, J. J.M. **Eficiência Energética e o Futuro dos Recursos Energéticos**. 2019. Disponível em:< <http://conselt.com.br/2019/05/13/eficiencia-energetica-e-o-futuro-dos-recursos-energeticos/>>. Acesso em: 28 out. 2019.

MESSIAS, Antonio Aires. **Redes Inteligentes de Energia – Smart Grids**. 9.º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Electrotécnica. Lisboa, 2009. Disponível em:< https://www.ordermengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/43d873018197200548480134e8ef5272.pdf>. Acesso em: 24 out. 2019.

MINH, Q. T., NGUYEN, K., BORCEA, C.; YAMADA, S. On-the- y establishment of multihop wireless access networks for disaster recovery. **Communications Magazine**, IEEE, v. 52, n.10, p. 60-66, 2014.

MME - Ministério de Minas e Energia (2011). Plano Nacional de Eficiência Energética (Premissa e Diretrizes Básicas). Disponível em: < <http://www.planejamento.gov.br/assuntos/orcamento-1/>>. Acesso em: 09 out.2019.

MME - Ministério de Minas e Energia (2011). Plano Nacional de Eficiência Energética (Premissa e Diretrizes Básicas). Disponível em: < <http://www.planejamento.gov.br/assuntos/orcamento-1/>>. Acesso em: 09 out.2019.

NASCIMENTO, R. P. Redes verdes: uma reflexão sobre eficiência energética nas estações bases. **Revista Científica da FASETE** 2015. Disponível em:< https://www.fasete.edu.br/revistarios/media/revistas/2015/9/redes_verdes.pdf> Aceso em :08 out. 2019.

OIKONOMOU, V., BECCHIS, F., STEG, L.; RUSSOLILLO, D. Energy saving and energy efficiency concepts for policy making. **Energy Policy**, 37, 4787-4796, 2009.

OIKONOMOU, V.; BECCHIS, F., STEG, L.; RUSSOLILLO, D. **Energy saving and energy efficiency concepts for policy making**. Energy Policy, 37, 4787-4796, 2009.

OLIVEIRA, D. SOARES, E. **Brasil Trilha Caminho para Adotar Smart Grid**. NBUSINESS. 2012; Disponível em: <http://computerworld.uol.com.br/tecnologia/2012/08/07/brasil-trilha-caminho-para-chegar-a-smart-grid/>. Acesso em; 16 out. 2019.

RAMANATHAN, R., REDI, J. **A Brief Overview of Ad hoc Networks: Challenges and Directions**. IEEE Communications Magazine, 2002.

REIS, Pedro. **Energia solar fotovoltaica**. Portal Energia. 2019. Disponível em:< <https://www.portal-energia.com/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 28 out. 2019.

RIVERA, Ricardo et al. **Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local**. 2013. Disponível em:< https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2927/1/RB%2040%20Redes%20el%c3%a9tricas%20inteligentes_P.pdf>. Acesso em: 24 out. 2019.

- ROMÉRO, M. A.; REIS, L. B. **Eficiência energética em edifícios**. Barueri: Manole, 2012.
- SILVA, A. C. da. **Tecnologias de informação e comunicação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2015.
- SILVA, Albino Costa da. **Tecnologias de informação e comunicação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2015.
- SINHA, Sunanda; CHANDEL, S. S. Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic–wind based hybrid energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 755-769, 2015.
- SOUA, R. and MINET, P. “**Multichannel assignment protocols in wireless sensor networks: A comprehensive survey**”. *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 16, pp. 2–21, 2015.
- SOUZA, Marcos. **Claro anuncia maior programa de geração distribuída de energia renovável do país**. 2017. Disponível em:<<https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/claro-anuncia-maior-programa-de-geracao-distribuida-de-energia-renovavel-do-pais/>>. Acesso em: 17 out. 2019.
- SOUZA, Enio Pereira et al. Avaliação da sustentabilidade na geração híbrida solar e eólica. **Revista ESPACIOS**, v. 36, n.15, 2015.
- STERN, N. **The Economics of Climate Change – the Stern Review**. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- TIEPOLO, G. et al. **Fontes renováveis de energia e a influência no planejamento energético emergente no Brasil**. In: VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético–CBPE. 2012
- TUCKER, R. Green optical communications-part i: Energy limitations in transport. Selected Topics in Quantum Electronics, **IEEE Journal**, v. 17, n. 2, pp. 245–260, 2011.
- VALENCIAGA, Fernando; PULESTON, Paul F. Supervisor control for a stand-alone hybrid generation system using wind and photovoltaic energy. **IEEE transactions on energy conversion**, v. 20, n. 2, p. 398-405, 2005.
- ZAKARIA, A. **Quality of Service in Wireless Sensor Networks**. 2012. Disponível em:<http://richard.myweb.cs.uwindsor.ca/cs510/survey_zakaria.pdf> . Acesso em: 29 out. 2019.
- ZHISHENG, N. et al. **Cell Zooming for CostEfficient Green Cellular Networks**, IEEE Communications Magazine, volume 48, November, 2010.
- ZHISHENG, Niu et al. Cell Zooming for CostEfficient Green Cellular Networks. **IEEE Communications Magazine**, v. 48, n. 11, nov. 2010.