



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**

**Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável
Engenharia de energias**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO

CELESTINO MENDES LOPES JUNIOR

**SMART GRID: ESTUDO, ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
PROPOSTA PARA SUA IMPLANTAÇÃO EM GUINÉ-BISSAU**

ACARAPE - CE

2020

CELESTINO MENDES LOPES JUNIOR

**SMART GRID: ESTUDO, ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
PROPOSTA PARA SUA IMPLANTAÇÃO EM GUINÉ-BISSAU**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. Hermínio Miguel De Oliveira Filho

ACARAPE - CE

2020

CELESTINO LOPES MENDES JÚNIOR

SMART GRID: ESTUDO, ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
PROPOSTA PARA SUA IMPLANTAÇÃO EM GUINÉ-BISSAU.

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em 28/01/2020.

BANCA EXAMINADORA

Herminio Miguel de O. Filho

Prof. Herminio Miguel de Oliveira Filho

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Vandilberto Pereira Pinto

Prof. Vandilberto Pereira Pinto

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Cícero Saraiva Sobrinho

Prof. Cícero Saraiva Sobrinho

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Junior, Celestino Mendes Lopes.

L864s

Smart grid: estudo, análise e desenvolvimento inicial da proposta para sua implementação em Guine-Bissau / Celestino Mendes Lopes Junior. - Redenção, 2020.

Of: il.

Monografia - Curso de Engenharia De Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Herminio Miguel De Oliveira Filho.

1. Guiné-Bissau. 2. Smart Grids. 3. Planejamento Energético.
4. Geração de Energia. 5. Elétrica. 6. ZigBee. I. . II. Título.

CE/UF/BSCA

CDD 621.3

Dedico este trabalho especialmente à nação guineense e todos que acreditam no meu esforço e na minha capacidade.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom de vida que Ele me concedeu, e os meus familiares pelo apoio incondicional e valores que me ensinaram. Agradeço também ao governo brasileiro e aos professores pela oportunidade que me deram de adquirir esse brilhante aprendizado que me tornou um Engenheiro de Energias, em que espero ter uma carreira profissional próspera e bem sucedida, com capacidade e novas visões de não só solucionar problemas energéticos, mas também problemas que envolvem o bem estar da sociedade e do nosso planeta.

Ainda agradeço, o meu orientador, o Prof. Dr. Hermínio Miguel De Oliveira Filho, pela sua orientação e a Profa. Dr. Rejane Felix Pereira pelo tempo e ajuda. E, por último, e não menos importantes, a todos os meus amigos e colegas em especial a minha namorada Maelly Ingrid Lima Colares por todo apoio, pelas críticas, e conselhos que contribuíram bastante no meu sucesso.

“A tecnologia alimenta a si mesma. A tecnologia faz mais tecnologia.

Alvin Toffler

RESUMO

Tendo em conta o baixo percentual de eletrificação em Guiné-Bissau ocasionado por diversos fatores (falta das fontes de geração e das redes de transmissão e distribuição de energia elétrica em algumas localidades, perdas técnicas e não técnicas, consumo ineficiente de energia elétrica, dentre outros) que são verificadas também em alguns países, impulsionou-se a escolha do tema e o seu desenvolvimento por meio de pesquisa bibliográfica, objetivando-se na investigação sobre as *Smart Grids* e suas tecnologias. Além disso, desenvolveu-se uma proposta inicial para a sua implementação em Guiné-Bissau, como uma das soluções para os fatores já mencionados, incluindo a crescente demanda energética e a conexão das unidades consumidoras com fontes centralizadas do plano 2015-2030, e sem contar com inúmeros benefícios que as *Smart Grids* possuem, ressaltando a facilidade na diversificação da matriz elétrica que ela proporcionará para o país. Imunidade a ruído, alcance, topologia, consumo de energia por parte dos dispositivos da própria tecnologia, espectro e custo são parâmetros considerados na escolha das tecnologias de comunicação mais ideias para implementação das *Smart Grids* em Guiné-Bissau, entre elas, acredita-se que, a combinação da tecnologia *ZigBee* com rede de celulares – GPRS, que o país já possui, garantirá o funcionamento inicial de *Smart Grid* nas redes de baixa, média e alta tensão.

Palavras-chaves: Guiné-Bissau. *Smart Grids*. Planejamento Energético. Geração de Energia Elétrica. *ZigBee*.

ABSTRACT

Having in count the low percentage of electrification in Guinea-Bissau occasionally to diverse factors absence of fonts of generation and of web of transmission and distribution of energy electric in some locality (lost technical and not technical, consumer inefficient of energy electric, inside another) that are observed too in some countries, boosted the choose of theme and it development to half of research biography objectivity on investigation about the *Smart Grids* and their technologies. Besides of this developed one propose begin for their implementation in Guinea-Bissau with one of solutions for the factors mentioned between parentheses include the increase demand energy and the connection of unity consumer with fonts centralize of plane 2015-2030, and without counting with numerous benefice that the *Smart Grids* possum speed the facility on diversification of the matrix electric the she proportioned for the country immunized the noise, reach, topology, consumer of the energy to part of dispositive of personally technology, spectrum and cost are parametron consider on choose of technologies of communication but the idea for implementation of *Smart Grids* in Guinea-Bissau between them, believe that the combination of technology *Zigbee* with web of self-phones – GPRS, that the country have reach, guaranty the begin function of *Smart Grids* on webs of low, medium and high tension.

Keys words: Guinea-Bissau *Smart Grids*. Planning Energetic. Generation of Energy Electric *ZigBee*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de uma rede Elétrica Convencional.....	16
Figura 2 - Localização da Guiné-Bissau e mapa da Guiné-Bissau.....	19
Figura 3 - As zonas com maior irradiação solar do país	20
Figura 4 - As etapas seguidas na realização do presente trabalho.....	22
Figura 5 - Visão geral do sistema da SG	27
Figura 6 - Um dos modelos padrões das Smart Grids aplicado a sete domínios.....	28
Figura 7 - Principais motivadores com seus objetivos	30
Figura 8 - Categorias tecnológicas constituintes das Smart Grids	32
Figura 9 - Planta virtual de geração.....	35
Figura 10 - Medidor monofásico utilizado nas residências.....	37
Figura 11 - Smart Mater do modelo Acuvim II.....	38
Figura 12 - Exemplo de uma configuração básica da rede de comunicação PLC.....	41
Figura 13 - Exemplo de aplicação do GPRS em Smart Meter	42
Figura 14 - Exemplo da aplicação da rede <i>Mesh</i> na infraestrutura de rede elétrica	43
Figura 15 - Topologias da rede ZigBee	44
Figura 16 - Motivações para implementação das tecnologias da SG em Guiné-Bissau	46
Figura 17 - Projeção da futura rede de distribuição no capital do país	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - As dez características da definição das Smart Grids	25
Tabela 2 - Descrição das categorias tecnológicas da Smart Grid.....	32
Tabela 3 - Descrição das características das tecnologias da Smart Grid.....	45
Tabela 4 - Tabela de comparação entre rede atual e Smart Grid.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

/ Ou

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MEI	Ministério da Energia e Indústria
SGs	<i>Smart Grids</i> (Redes Elétricas Inteligentes)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EAGB	Empresa de Eletricidade e Águas da Guiné-Bissau
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
GD	Geração Distribuída
GWh	Gigawatt-hora
CREI	Comunicação em Redes Elétricas Inteligentes
GC	Geração Centralizada
WAN	<i>Wide Area Network</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
IED	Intelligent Electronic Device
AMI	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
MS	<i>Smart Meter</i>
FACTS	Sistema de Transmissão Flexível em Corrente Alternada
HVDC	<i>High Voltage Direct Current</i>
PIB	Produto Interno Bruto
REI	Rede Elétrica Inteligente

AIR	Análise de Impacto Regulatório
ETP	<i>Smart Grids European Technology Platform</i>
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
EVDO	<i>Evolution-Data Optimized</i>
WCDMA	<i>Wide-Band Code-Division Multiple Access</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for Global Evolution</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
KV	Quilovolts
MW	Megawatt
Hz	Hertz
PAN	<i>Coordinator Central</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
RFD	<i>Reduced Function Device</i>
Kbps	Quilobit por segundo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Breve descrição do país em estudo e análise para implementação da <i>Smart Grid</i>	18
1.2 Objetivos	20
<i>1.2.1 Objetivo geral</i>	20
<i>1.2.2 Objetivos específicos</i>	21
1.3 Justificativa	21
1.4 Metodologia	22
<i>1.4.1 Instrumento de coleta de dados</i>	22
<i>1.4.2 Coleta e análise de dados</i>	23
1.5 Escopo do trabalho	23
CAPÍTULO 2 - INTRODUÇÃO AS <i>SMART GRIDS</i>.....	24
2.1 Conceito das <i>Smart Grids</i>	25
2.2 Motivações e benefícios das <i>Smart Grids</i>	28
2.3 <i>Smart grid</i> no cenário mundial.....	29
<i>2.3.1 Smart Grids na Europa</i>	30
<i>2.3.2 Smart Grids nos EUA</i>	30
<i>2.3.3 Smart Grids na Ásia Oriental</i>.....	31
CAPÍTULO 3 - TECNOLOGIAS APLICADAS EM <i>SMART GRID</i>	32
3.1 Sistema de fornecimento	34
<i>3.1.1 Geração</i>	34
<i>3.1.2 Transmissão</i>	35
<i>3.1.3 Distribuição</i>	36
3.2 <i>Smart Meter</i> (SM).....	37
3.3 Tecnologias de comunicação da <i>Smart Grid</i>	38
<i>3.3.1 Tecnologia de comunicação cabeada</i>	39

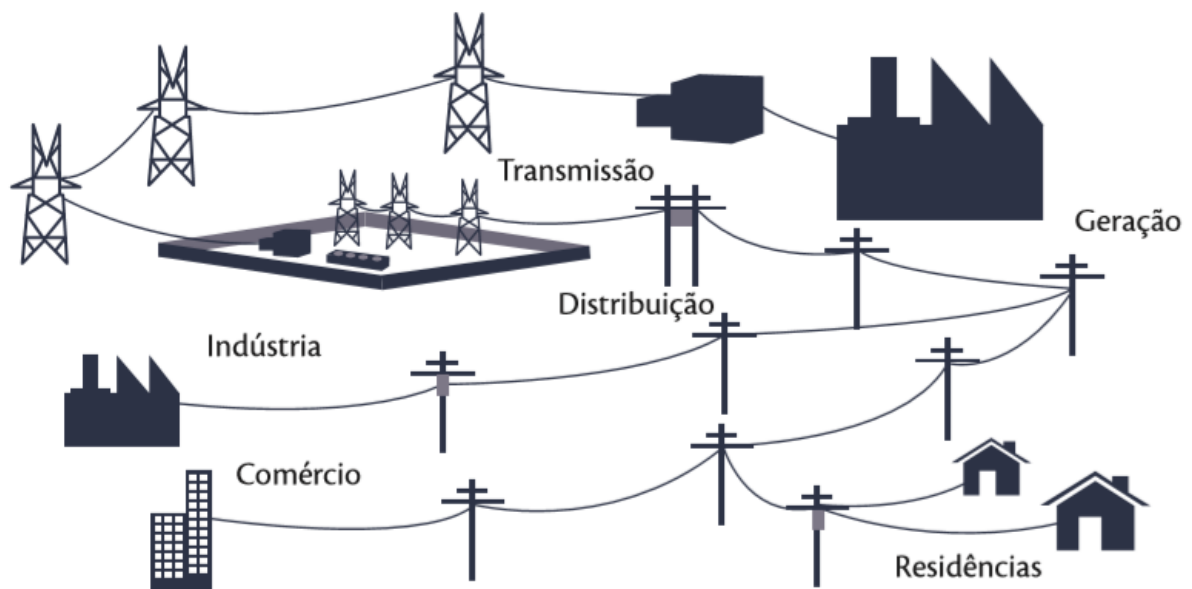
3.3.1.1 Fibra óptica.....	39
3.3.1.2 Power Line Communication.....	40
3.3.2 Tecnologias de comunicação não cabeadas	41
3.3.2.1 Redes de celulares.....	41
3.3.2.2 Rede mesh.....	42
3.3.2.3 Redes ZigBee (ZB).....	43
3.3.2.4 WiFi.....	44
3.3.2.5 Bluetooth.....	44
CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO INICIAL DA PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DA SMART GRID EM GUINÉ-BISSAU.....	46
4.1 Desenvolvimento Inicial da Proposta para Implementação da SG.....	47
4.2 Comparação entre redes atuais e <i>Smart Grid</i>.....	49
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o homem vem aplicando os seus conhecimentos empíricos e científicos na descoberta das melhores formas possíveis de aproveitar as energias primárias (que consiste em energias contidas nos combustíveis crus, energia eólica, solar, geotérmica, entre outros) existentes na natureza de modo a melhorar sua qualidade de vida.

Com a descoberta da eletricidade associada ao desenvolvimento acelerado da população, o homem passou a focar os seus conhecimentos na forma de conversão das energias primárias em eletricidade a partir das fontes que se renovam à longo e curto prazos. Entretanto, com o desenvolvimento das tecnologias e com as alterações climáticas de acordo com as localização geográfica, impulsionou-se a construção das fontes centralizadas com maior potencial e qualidade da energia elétrica, fazendo, assim, a necessidade da construção das redes de transmissão e distribuição da eletricidade, conectando às fontes centralizadas com os devidos consumidores (industriais, comerciais e residenciais), como ilustrado na figura 1.

Figura 1 - Esquema de uma rede Elétrica Convencional



Fonte: XINGHUO, et. al. (2011) apud CGEE (2012, p. 15)

No mundo, assim como em Guiné-Bissau, a demanda energética tem crescido em paralelo com o crescimento populacional, de acordo com Ministério da Energia e Indústria (MEI), definido no plano de investimento para energia sustentável da Guiné-Bissau 2015 – 2030. A oferta em energia elétrica permanece insuficiente ou deficiente em todo o país, diante disto, apenas uma pequena parte da população tem acesso à eletricidade, que segundo o plano,

foi estimado em 11,5% da taxa de eletrificação nacional em 2010. Com o aumento da renda e movimentação do capital, proporcionou-se maior acesso da população ao eletrodomésticos entre os anos 2010 - 2013, fazendo com que a demanda energética se eleva a uma taxa média anual num valor aproximadamente igual a 3,2%, atingindo 182 GWh da energia elétrica consumida no país em 2013, sendo que o setor residencial é o responsável por 56% do consumo no país (MEI, 2017).

Com isso, uma das principais causas para o baixo percentual da eletrificação nacional, é a falta das fontes de geração e das redes de transmissão e distribuição na maioria das localidades do país (Guiné – Bissau) sem contar com a baixa capacidade e ineficiência dos condutores elétricos já instalados no país. Pode-se ressaltar que, por um lado, a ineficiência abordada anteriormente, se trata das perdas na rede de transmissão e distribuição, onde a distribuição representa o maior percentual de perdas de energia elétrica no sistema elétrico. De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica brasileira - ANEEL (2013), *Apud* Mikos, Schiochet e Costa (2014), “às perdas na rede de distribuição elétrica são responsáveis por cerca de 15% da energia comprada pelas distribuidoras” e, conseqüentemente, essas perdas proporcionam o aumento no custo da energia elétrica, fazendo com que os consumidores finais paguem além do próprio consumo.

Por outro lado, segundo MEI (2017) através do plano de investimento para energia sustentável da Guiné-Bissau 2015 - 2030, Guiné-Bissau é um país que a importação de produtos petrolíferos representa cerca de 8% do Produto Interno Bruto (PIB) nominal e 12% do PIB real, de modo que um percentual significativo dos produtos petrolíferos é utilizado para geração de 92,7% da eletricidade do país por meio da combustão interna dos grupos de geradores a diesel gerenciados pela Empresa de Eletricidade e Águas da Guiné-Bissau (EAGB). O restante relacionado a produção de energia elétrica, equivalente a 7,3%, provém das centrais públicas no interior do país, em que a maior parte delas do tipo geradores a diesel.

Entretanto, é evidente que a produção da eletricidade em Guiné – Bissau depende de mais de 90% dos produtos petrolíferos. Conseqüentemente, com a diminuição da oferta do petróleo no mundo e as suas tendências em relação ao aumento do preço, sem contar com os impactos ambientais que ele causa, a produção da eletricidade pode ser um problema no futuro não só para Guiné – Bissau, mas também para países que dependem dos produtos petrolíferos para produção da eletricidade. Com isso, o presente trabalho se objetiva no estudo e análise da implementação em Guiné-Bissau de um novo sistema elétrico que se convencionou de quarta geração, denominado de *Smart Grid* (SG), que traduzido em português significa Rede Elétrica Inteligente (REI).

Com isso, independentemente dos benefícios que a SG possui, a mesma poderá ser uma das soluções para conexões das fontes dos projetos 2015 - 2030 com as unidades consumidores, e facilitará a diversificação da matriz elétrica do país, minimizando, assim, a utilização dos produtos petrolíferos para produção da eletricidade. Diferente do sistema da segunda e terceira geração, as *Smart Grids* são caracterizadas por gerar menos perda, maior segurança e disponibilidade ao longo da entrega da eletricidade aos consumidores finais, além de facilitar as integrações das diferentes fontes descentralizadas na rede, “renováveis e intermitentes – e de introduzir novos consumidores – como veículos elétricos”(RIVERA & ESPOSITO, 2013, p. 46).

As *Smart Grids* se revelaram com o avanço da tecnologia digital aplicado aos sistemas de fornecimento da energia elétrica, ou seja, nos sistemas de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. O termo é definido como um sistema que “apresenta segurança, agilidade e robustez ou capacidade de sobrevivência de uma infraestrutura da entrega de energia elétrica, que enfrenta novas ameaças e condições imprevistas” (AMIN & WOLLENBERG, 2005, p. 1). Ele é defendido também por uso intensivo das tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), facilitando assim a interação entre os agentes da rede em caso de novas configurações ou uma ação a ser executada.

Compreende-se que com a implementação de SG será possível aproveitar inúmeras vantagens em relação às redes convencionais: o aumento das quantidades e qualidades das informações relacionadas ao desempenho da rede, permitindo a injeção das fontes descentralizadas nas horas adequadas e evitando as sobrecargas nas redes; aumento de controle no consumo por parte dos consumidores (um dos métodos da eficiência energética pelo lado da demanda) e por parte também das concessionárias (evitando as fontes centralizadas de produzirem energia excedente em certas horas do funcionamento), dentre outros. Com essas vantagens, é evidente que a otimização do desempenho da rede aumentará, “refletindo em menores custos no fornecimento da energia elétrica e, conseqüentemente, menores serão as tarifas para os consumidores” (BANDEIRA, 2012).

1.1 Breve descrição do país em estudo e análise para implementação da *Smart Grid*

O país, cujo nome oficial é República da Guiné-Bissau, localiza-se na costa ocidental do continente africano, na zona 28 P, nas coordenadas UTM à 509.067, 64 m E de longitude e 1.339.455,88 m N de latitude (EARTH, 2019) como ilustra a figura 2. Ele possui uma extensão

territorial que abrange 36.125 km² de área, com aproximadamente 88 ilhas e ilhéus e povoado por cerca de 1,861 milhões de habitantes, 2017. O país encontra-se dividido em 9 regiões administrativas: Bafatá, Biombo, Bolama / Bijagós, Cacheu, Gabu, Oio, Quinara, Tombali e Sector Autónomo de Bissau (Capital).

Figura 2 - Localização da Guiné-Bissau e mapa da Guiné-Bissau

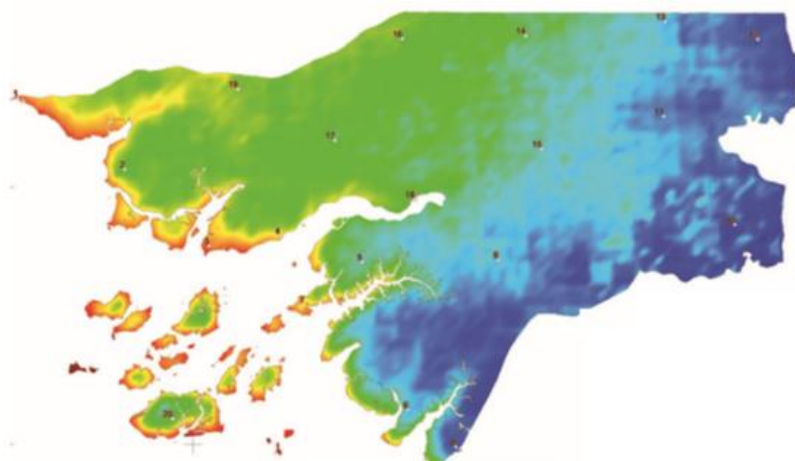


Fonte: MEI (2017a, p. 15)

Considerando que a Guiné-Bissau é um país tropical, ele se dispõe de vários recursos de potencial energética que promove uma forte implementação das tecnologias da *Smart Grid* com a finalidade de diversificar a matriz elétrica guineense de uma forma descentralizada e sustentável, além dos outros benefícios que ainda serão abordados ao longo do desenvolvimento do presente trabalho.

Entretanto, entre os recursos energéticos mais destacados que o país possui a energia solar é o predominante, de acordo com relatório nacional de ponto de situação guineense (2018), estimou-se uma irradiação global entre 4,93 kWh/m² e 5,48 kWh/m² por dia, com uma média anual de 5,87 kWh/m². As regiões com irradiação solar mais forte, distinguem-se entre: arquipélago de Bijagós (ilhas) e nas regiões de Cacheu, Oio, Biombo e o capital (Sector Autónomo de Bissau). A figura 3 representa as zonais com maior irradiação solar incluindo o capital do país, que é umas das possíveis zonas pioneira para a implantação das tecnologias da *Smart Grid*.

Figura 3 - As zonas com maior irradiação solar do país



Fonte: Plano Diretor (2013)

Entre outros recursos energético que o país possui, ele se dispõe de várias bacias hidrográficas, de modo que, o potencial hidroelétrico estimado entre 19 micro barragens que podem ser aproveitadas para fins da produção elétrica são no total de 2,94 MW. Pois, a bacia com mais potencial se localiza nos rios a leste do país concretamente nas regiões de Corubal e no Geba. E por fim, ente os mais destacados, a Guiné-Bissau possui uma potência muito baixa no que diz respeito a energia eólica, a real potência desse recurso em Guiné-Bissau se encontra desconhecido ainda como muito dos outros. Mas foi estimado por meio da simulação numérica uma intensidade em todo país em torno de 2,5 m/s a 5,3 m/s resultando em uma potência de 2 MW até 2030.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Realizar o estudo e análise da implementação das tecnologias de *Smart Grid* no sistema elétrico guineense, a fim de viabilizar futuras propostas da sua implementação nas redes de transmissão e distribuição da energia conectando-se às futuras fontes centralizadas dos projetos 2015 - 2030 com as unidades consumidoras, e facilitando a integração das fontes descentralizadas nas redes de média e baixa tensão.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre as tecnologias de *Smart Grids*, apresentando todas as suas etapas, desde a fase de estudo até o seu funcionamento;
- Contribuir no incentivo dos consumidores a consumir a energia elétrica de modo mais consciente e ressaltar a existência e aplicação das tecnologias que os setores elétricos podem utilizar para ter um fornecimento de energia com maior eficiência;
- Desenvolver uma proposta inicial com base no custo-benefício para a implementação em Guiné-Bissau das *Smart Grids*, através das diferentes tecnologias que possui e compará-la com as redes da segunda e terceira geração.

1.3 Justificativa

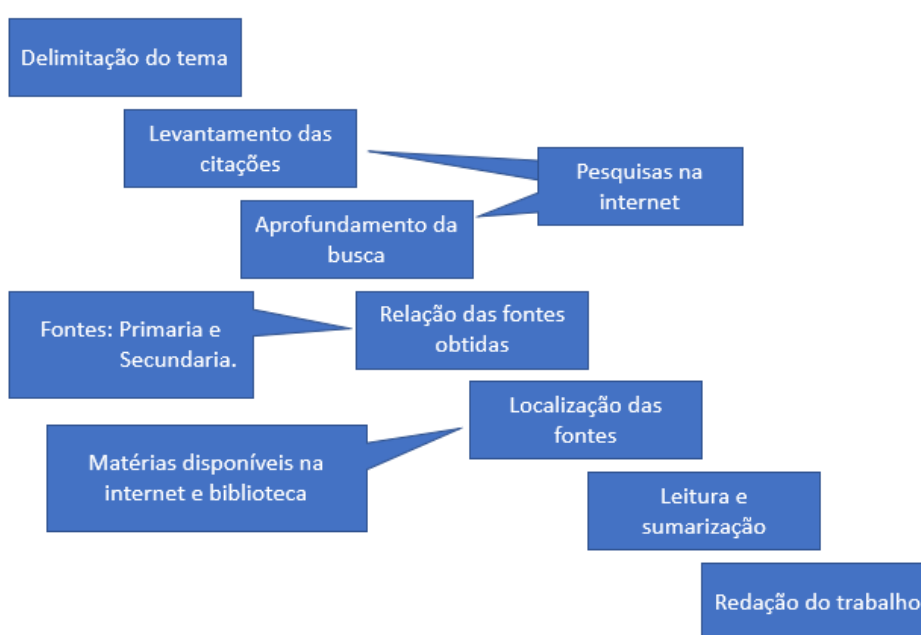
Devido à crescente demanda energética em Guiné-Bissau, consumo irracional, e perdas técnicas e não-técnicas da eletricidade ao longo da sua entrega aos consumidores finais por meio das redes convencionais, faz-se necessário a escolha e desenvolvimento do presente tema como uma das possíveis soluções para suprimir a crescente demanda energética no país, canalizando as energias desperdiçadas para suprir a demanda dos novos consumidores, além dos inúmeros benefícios que ele propiciará a sociedade como um todo.

Por um lado, a escolha deste tema demonstrará inúmeros impactos positivos que as *Smart Grids* podem trazer para Guiné-Bissau e outros países, como uma das formas de incentivar os consumidores a consumir a energia elétrica de modo mais consciente e demonstrar também a existência e aplicação das tecnologias que os setores elétricos podem utilizar para ter um fornecimento de energia com maior eficiência. E, por outro lado a escolha do tema e o seu desenvolvimento minimizará a preocupação de como suprir a demanda energética no mundo, que para muitas pessoas a solução é sempre construção de mais fontes centralizadas com maior potência. Entretanto, pode-se ver que, desde etapas iniciais, o trabalho vem demonstrando que a solução para a crescente demanda energética não se limita só na construção das fontes centralizadas ou descentralizadas de energia, até porque, as fontes centralizadas e descentralizadas sempre geram impactos ambientais, seja na produção de energia elétrica, assim como na construção das máquinas que produzem a energia elétrica.

1.4 Metodologia

O presente trabalho foi baseado na pesquisa bibliográfica, pois de acordo com Pizzani et al. (2012), a importância da pesquisa bibliográfica pode ser vista no momento em que o pesquisador está se esforçando para descobrir o que já foi produzido cientificamente para sustentar os seus estudos. De modo que, para obtenção dos melhores resultados foi necessário seguir as etapas gradativamente representadas na figura 4 na forma de fluxograma, garantindo assim uma boa eficiência na análise e coleta das informações por meio das pesquisas bibliográficas.

Figura 4 - As etapas seguidas na realização do presente trabalho



Fonte: Autoria própria (2020)

1.4.1 Instrumento de coleta de dados

Como foi dito anteriormente, o presente trabalho é baseado nas pesquisas bibliográficas, de modo que para Pizzani et al. (2012) os materiais para pesquisa bibliográfica podem ser encontrados em três tipos de fonte informacional, entre os quais têm-se: as fontes primária, secundária e terciária.

Ainda segundo Pizzani (2012), as fontes primárias caracterizam-se por materiais originais, descrição das ideias próprias e que são publicadas pela primeira vez em livros, teses universitárias, relatórios técnicos, anais de congressos, artigos em revistas científicas, dentre outros. E as fontes secundárias são trabalhos que não são da autoria própria, ou seja, são basicamente citações, revisões e interpretações dos trabalhos originais. Logo, para o presente

trabalho são utilizados os dois tipos de fontes citadas acima, onde os dados foram obtidos por meio das revistas, artigos, livros, relatórios e dissertações que tratam basicamente das SGs.

1.4.2 Coleta e análise de dados

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, a etapa de análise e coleta de dados que foram feitas por meio das pesquisas bibliográficas, segundo Minayo (1996), *apud* Costa (2014), é uma das etapas mais importantes porque a partir dessa etapa que o pesquisador absorve a maior parte do conteúdo pesquisado, permitindo-lhe aprofundar sobre o assunto, relacionando os dados coletados nas diferentes situações ou fundamentação dos diferentes autores, procurando consistências e inconsistências nas informações obtidas, a fim de chegar a uma determinada conclusão a respeito do assunto pesquisado. Com isso, os dados obtidos para esse trabalho passaram por mecanismo de análise e interpretação, fundamentando a importância e o desenvolvimento do trabalho.

1.5 Escopo do trabalho

O presente trabalho foi desenvolvido em 5 capítulos. O primeiro se trata da introdução, começando por demonstrar de uma forma geral a importância da energia, obstáculos, impactos e soluções no seu transporte e consumo, especificamente em Guiné-Bissau, além da apresentação da justificativa, objetivos e metodologia aplicada.

O Segundo capítulo trata do conceito da *Smart Grid*, partindo desde a evolução das redes convencionais até o surgimento da mesma, além de ressaltar os seus benefícios e vantagens. Foi demonstrado também os interesses e objetivos dos países e/ou continentes precursores do seu desenvolvimento.

Já no terceiro capítulo, foi abordada as principais tecnologias com base nos custos e benefícios que a SG possui, ressaltando as suas características e aplicações no sistema como um todo.

No quarto capítulo, descreveu-se o desenvolvimento inicial da proposta da implementação da SG em Guiné-Bissau, onde foram selecionadas tecnologias que podem ser utilizadas no país baseando-se nas suas características e custo-benefício.

Finalmente, no quinto e último capítulo expõe a conclusão a respeito de todo o estudo desenvolvido, além das sugestões dos temas que podem ser desenvolvidos nos futuros trabalhos.

CAPÍTULO 2 - INTRODUÇÃO AS *SMART GRIDS*

É importante entender a evolução das redes elétricas convencionais até as *Smart Grids*, para melhor compreender o que são às mesmas, como surgiram e os impactos positivos e negativos que elas podem causar para o meio ambiente e sociedade como um todo.

Segundo Academia Nacional de Engenharia dos EUA, *apud* Bandeira (2012), a maior conquista da engenharia no século XX foi a eletrificação em grande escala nas pequenas cidades, impactando positivamente na qualidade de vida dos seres humanos. Entretanto, até hoje a maioria das pessoas desconhecem a complexidade de como a eletricidade é transportada das fontes geradoras até os consumidores finais no exato momento em que os consumidores precisam com qualidade e segurança.

Conseqüentemente, as redes de transmissão e distribuição estão evoluindo proporcionalmente com a evolução das tecnologias, que segundo Bandeira (2012), a evolução das redes de transmissão e distribuição se divide basicamente em quatro gerações:

- A primeira geração, é caracterizada por sistemas de fornecimento de energia elétrica em corrente contínua das suas fontes para suprir a demanda energética nas próximas e pequenas cidades;
- Com a expansão das cidades e o aumento da demanda energética, proporcionaram a necessidade da transferência de elevados valores de potências a cidades distantes, impulsionando o surgimento da segunda geração, que se caracteriza pela transferência aérea em corrente alternada por meio dos postes e cabos, que, conseqüentemente, geram poluição visual e prejudicam a mobilidade urbana nas cidades, sem contar com o aumento dos riscos a segurança públicas. Com isso, proporcionou-se o surgimento da próxima geração, com intuito de minimizar os impactos negativos causada por essa geração para a sociedade;
- A terceira geração, é caracterizada principalmente pela transferência da corrente alternada por meio dos subsolos, minimizando assim os riscos de eletrocussão e outros impactos negativos sobre a sociedade. Além disso, ela é conhecida também por minimizar a frequência de manutenção que era evidente na segunda geração, em contrapartida o custo da instalação e manutenção são elevados, porém são priorizadas as instalações subterrâneas para os cabos de alta tensão;
- Por último, até os dias de hoje, surgiu a quarta geração, ou as *Smart Grids*, que basicamente é a incorporação da inteligência nos sistemas de fornecimento

e consumo da energia elétrica. O mesmo será abordado de uma forma mais detalhada ao longo do desenvolvimento do presente trabalho.

Desta forma, é evidente que a evolução da primeira, segunda e terceira gerações das redes de transmissão e distribuição se deram em prol do bem estar da sociedade, entregando a energia elétrica aos consumidores finais em boa qualidade e com menos impacto social. Da mesma forma, a quarta geração vem justamente para minimizar o impacto ambiental e social, solucionando o problema do crescimento da demanda energética, canalizando aos novos consumidores a maior parte das perdas verificadas ao longo da entrega e consumo da eletricidade, facilitando a integração das fontes descentralizadas (prosumidores) na rede elétrica (BANDEIRA, 2012).

2.1 Conceito das *Smart Grids*

De acordo com o relatório (2010) apresentado pelo Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes composta por diferentes entidades, dentre os quais, Ministério de Minas e Energia - MME, Empresa de Pesquisa Energética - EPE, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, dentre outros, afirmou que, o termo *Smart Grid* foi utilizado pela primeira vez em 2005 na publicação da revista IEEE P&E, intitulado “*Toward a Smart Grid*”. O artigo é escrito pelo S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg. Desde então, o termo vem sendo utilizado por diferentes autores, onde cada autor define a *Smart Grid* baseando nas suas interpretações, gerando assim diferentes definições sobre a mesma.

Com o decorrer do tempo, a primeira definição oficialmente publicada onde a maioria dos autores refutaram nos últimos 11 anos, foi dada pela Lei da Independência e Segurança Energética de 2007 originalmente denominada Lei de Energia Limpa de 2007, onde foi aprovada pelo congresso dos EUA em 19 de Janeiro de 2007, que delimitou dez características ilustradas na tabela 1 que a definição das *Smart Grids* pode ter, e foi assinada pelo presidente George W. Bush em Dezembro do mesmo ano.

Tabela 1 - As dez características da definição das *Smart Grids*

As dez características da definição das <i>Smart Grids</i>	
1	Maior uso de informações digitais e tecnologia de controles para melhorar a confiabilidade, segurança e eficiência da rede elétrica;
2	Otimização dinâmica de operações e recursos da rede, com total segurança cibernética;
3	Implantação e integração de recursos distribuídos;

4	Desenvolvimento e incorporação de resposta à demanda, recursos do lado da demanda e recursos de eficiência energética;
5	Implantação de tecnologias ‘inteligentes’ (tecnologias interativas, automatizadas e em tempo real que otimizam o desempenho físico). operação de aparelhos e dispositivos de consumo) para medição, comunicações relativas a operações e status de rede e automação de distribuição;
6	Integração de aparelhos “inteligentes” e dispositivos de consumo;
7	Implantação e integração de tecnologias avançadas de armazenamento de eletricidade e de ponta, incluindo elétricos, elétricos e híbridos, e ar-condicionado com armazenamento térmico;
8	Fornecer aos consumidores informações oportunas e opções de controle;
9	Desenvolvimento de padrões para comunicação e interoperabilidade de equipamentos e equipamentos conectados à rede elétrica, incluindo a infraestrutura que serve a rede;
10	Identificação e redução de barreiras irracionais ou desnecessárias à adoção de tecnologias, práticas e serviços de redes inteligentes.

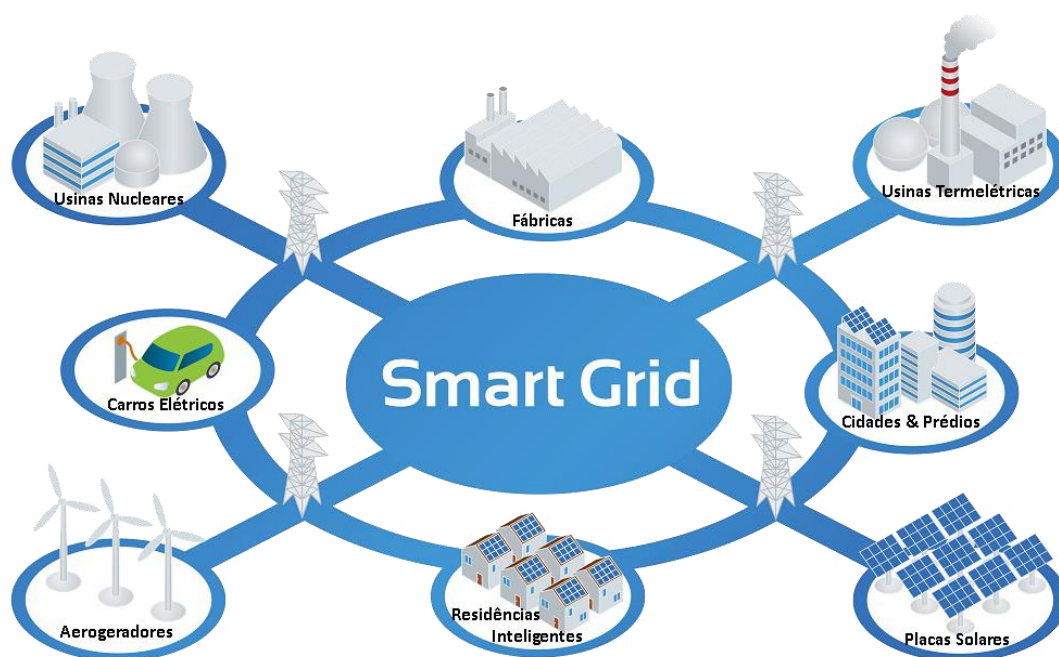
Fonte: HISOUR (2019)

Com isso, as definições das *Smart Grids* começaram a surgir com base nas características acima referidas. Segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE (2012), às *Smart Grids* são “as redes elétricas que utilizam tecnologia digital avançada para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade em tempo real com fluxo de energia e de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final.” Ou ainda de acordo com a definição de Falcão (2010), o termo *Smart Grid* se baseia “na utilização intensiva de tecnologia de automação, computação e comunicações para monitoração e controle da rede elétrica, as quais permitirão a implantação de estratégias de controle e otimização da rede de forma muito mais eficiente que as atualmente em uso.”

Apesar das definições sobre *Smart Grids* serem um pouco distintas considerando a interpretação de cada pesquisador, é evidente que todas não fogem das características abordadas na tabela acima, ressaltando sempre “a ideia do uso de medidores inteligentes e de transmissão de dados para permitir uma utilização mais eficiente e mais segura de recursos” (CABELLO, 2009).

Acredita-se que a figura 5 ilustra uma visão geral de como serão as conexões depois da implementação das tecnologias da *Smart Grid*, incorporando no sistema possíveis tipos das unidades consumidoras e fontes centralizadas e descentralizadas da energia elétrica.

Figura 5 - Visão geral do sistema da SG



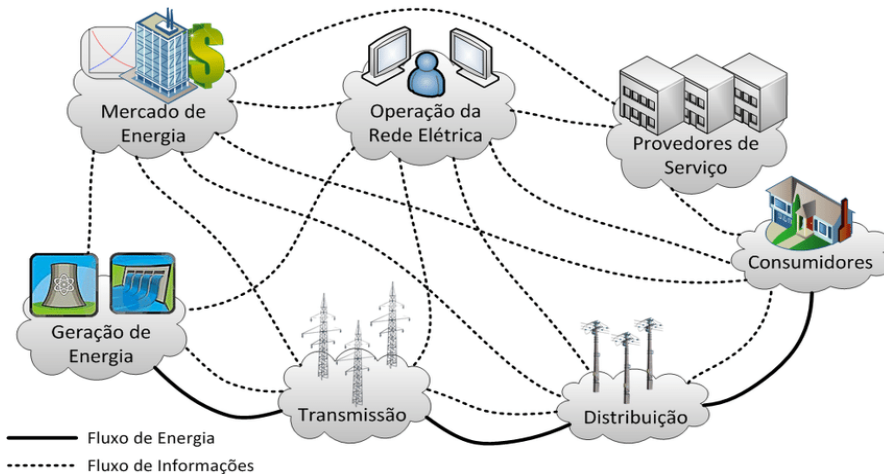
Fonte: UFRJ (2019)

Sendo assim, as *Smart Grids* são equipadas de tecnologias de alto nível de automação e o uso dinâmico de protocolos operacionais, que permitem a execução de uma ação rápida relacionada à informação dos consumidores. Possibilita também um fluxo bidirecional da corrente elétrica entre o consumidor final e sistemas de fornecimento, de modo que o consumidor possa ser o produtor da própria eletricidade nas horas convenientes, injetando o resto da energia produzida na rede com finalidade de recuperá-la nas horas inconvenientes da produção (Geração Distribuída - GD).

Do mesmo modo, o fluxo bidirecional também se aplica na troca das informações, onde a distribuidora pode ter informações sobre o consumidor ou vice-versa, ambos acompanhando a produção e consumo da energia em tempo real com recursos capazes de responder qualquer alteração no sistema, que incluem a capacidade de detectar, analisar e corrigir possíveis falhas, minimizando, assim, a probabilidade das situações de blecautes (CABELLO, 2009).

Entretanto, a figura 6 ilustra um modelo simples da SG com sete domínios, onde quatro domínios se interconectam por fluxo da energia elétrica e fluxo da transmissão dos dados monitorando um e o outro em tempo real garantindo a melhor eficiência no funcionamento, ao passo que, outros domínios interconectam só por troca de informações em função ao serviço do fluxo da energia elétrica.

Figura 6 - Um dos modelos padrões das Smart Grids aplicado a sete domínios



Fonte: CREI (2019)

2.2 Motivações e benefícios das *Smart Grids*

Independentemente dos interesses e objetivos que cada país tem sobre os benefícios da *Smart Grid* que serão abordados na seção posterior, de uma forma geral, para essa seção, de acordo com COSTA (2014), os benefícios da *Smart Grid* podem ser identificados da seguinte forma.

- Para as concessionárias: Melhoria da qualidade do serviço prestado, aumento da eficiência do sistema tornando-o mais protegido no que diz respeito às falhas da rede e bem preparado para enfrentar problemas de causas naturais, além de conseguir se auto recuperar rapidamente, redução das perdas comerciais e técnicas, redução de custos operacionais, maior controle sobre a demanda de energia e integração dos medidores inteligentes e sistemas de telecomunicações;
- Para os consumidores: melhor controle sobre o consumo de energia, novas opções de tarifação (energia pré-paga, tarifação horária), produção própria da energia elétrica, integração da inteligência nas tomadas residenciais melhorando a eficiência no consumo dos eletrodomésticos, possibilitando assim a diminuição no consumo da energia elétrica;
- Para o meio ambiente: a geração distribuída que possibilitará o aumento do uso de fontes renováveis e redução da necessidade da construção de novas usinas de grande porte; facilidade no uso dos veículos elétricos para locomoção e armazenamento de energia que consequentemente reduz da emissão do CO₂ (LOPES et al., 2012).

E em contrapartida, pode-se citar algumas desvantagens que a *Smart Grid* apresenta através dos fluxos bidirecionais da corrente elétrica por meio da integração das fontes descentralizadas (GD):

- Elevado custo da manutenção e instalação;
- Elevada distorção harmônica nas redes, principalmente nas de distribuição;
- Aumento da complexidade de operação das redes;
- Frequentes mudanças dos procedimentos de segurança das distribuidoras;
- Interrupções temporárias na geração centralizada, tendo em conta as conexões e desconexões imprevistas das fontes descentralizadas dos prosumidores.

Com isso, é evidente que, os benefícios e vantagens que a *Smart Grid* possui, não se compara com as suas desvantagens. Porém, acredita-se que com a sua implementação o maior percentual das demandas energéticas serão supridas em condições de menor impacto social e ambiental, além de deixar o sistema de fornecimento da energia elétrica mais eficiente, seguro e confiável. Com isso, é relevante salientar que, a implementação da *Smart Grid* envolve grandes investimentos, que por sua vez é necessária uma Análise de Impacto Regulatório – AIR no país requerente a sua implementação. “Esse tipo de análise apresenta uma avaliação antecipada dos impactos de regulamentos novos ou alterados” (LAMIN, 2013).

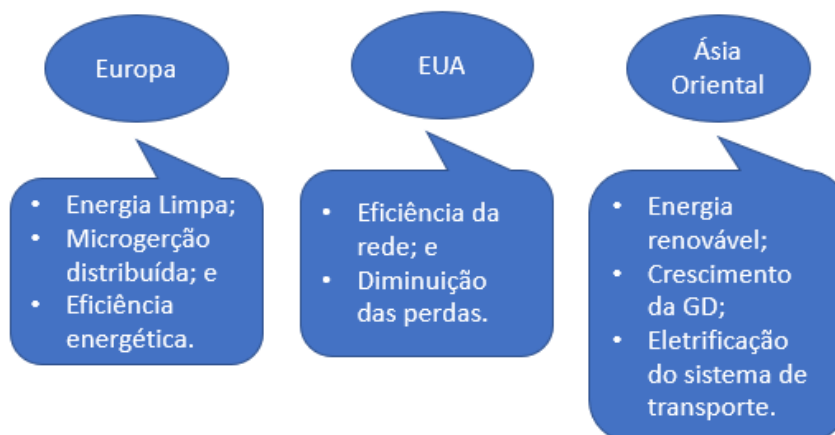
2.3 *Smart grid* no cenário mundial

O tema *Smart Grid* é um pouco novo ainda, de modo que os países mais desenvolvidos estão trabalhando nos mecanismos a respeito do seu desenvolvimento tecnológico e capacitação de especialistas. A Europa e EUA são os principais pioneiros no estudo, desenvolvimento e implementação desta tecnologia.

De acordo com pesquisas feitas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, não existe nenhum estudo publicado em Guiné-Bissau até o momento em relação a esse tema, pelo qual não é falta de necessidade, mas sim falta de profissionais capazes de promover e demonstrar a importância dessa tecnologia, e também fazer com que a nação guineense entenda que a energia elétrica contemporaneamente não é luxo, mas sim, um direito social de cada cidadão.

Apesar das diferentes iniciativas de cada país desde o momento em que é visto a importância da implementação das tecnologias da SG, cada país ou continente demonstram os seus interesses ressaltando os principais objetivos nos benefícios. A figura 7 ilustra o exemplo de alguns países e continentes com os seus respectivos objetivos (CGEE, 2012).

Figura 7 - Principais motivadores com seus objetivos



Fonte: Autoria própria (2020)

2.3.1 Smart Grids na Europa

Com intuito de minimizar a emissão de CO₂, a Europa se interessou na implementação das teologias da SG, de modo que foram criadas políticas públicas, planos e até o grupo denominado de “*Smart Grids European Technology Platform*” (ETP), formado por representantes da indústria, operadores de transmissão e distribuição de energia elétrica, agentes reguladores e centros de pesquisa, sendo que o propósito principal do grupo, é desenvolver ao longo prazo o projetos para redes europeia até 2020.

Deste modo, como forma de enfatizar a implementação da SG, a Comissão Europeia publicou um plano denominado de “Energia Estratégia 2020” (EU’s 20-20-20), com três principais objetivos, “20% a menos de gases do efeito estufa (em relação ao nível calculado em 1990), 20% a mais de fontes renováveis na geração de energia e ainda 20% a menos no consumo de energia por meio de programas de eficiência energética”(COSTA, 2014).

2.3.2 Smart Grids nos EUA

O EUA é um dos países com maior nível de consumo da energia elétrica no mundo, portanto, as redes de transmissão e distribuição da energia elétrica já se encontram no limite das suas capacidades de transferência e o tempo de vida útil que possa suportar. Com isso, sua principal motivação foi demonstrada na figura 6, que é aumentar a eficiência da rede, diminuir as perdas ao longo do transporte de energia elétrica aos consumidores finais e aumentar o nível da interação do sistema de fornecimento com os consumidores.

Além disso, devido ao limite da capacidade das redes de transmissão e distribuição de eletricidade, sem contar com as participações das usinas hidrelétricas, as fontes renováveis só

possuem 5% de suas participações na matriz elétrica americana. Logo, pode-se verificar mais um dos motivos pelo qual os americanos se interessam bastante na implementação das tecnologias da SG. Atualmente, com o desenvolvimento, instalação das SMs e melhorias nas redes, o EUA estipulou uma meta de integrar 25% de fontes renováveis na matriz elétrica até 2025 (CGEE, 2012).

2.3.3 Smart Grids na Ásia Oriental

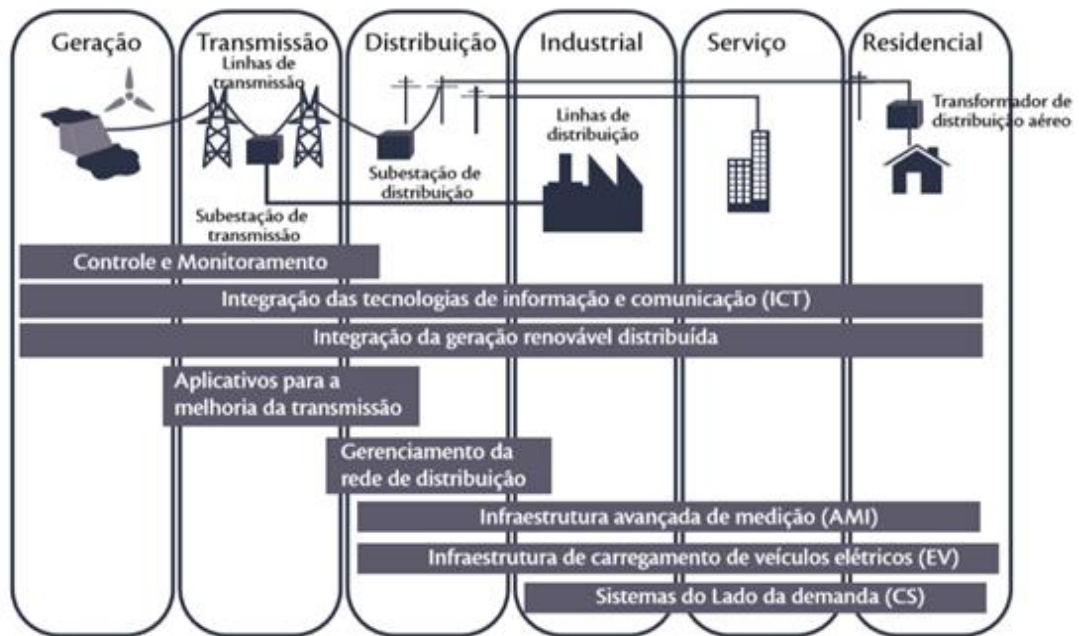
China e Japão são dois dos países com mais interesses na implementação das tecnologias da SG na Ásia Oriental. Atualmente, a China como um dos maiores consumidores mundiais de eletricidade, possui mais de 68% da produção de eletricidade proveniente do carvão. Entretanto, na tentativa de inverter essa situação, o país está com projetos voltados ao desenvolvimento e integração da energia renovável na matriz elétrica chinesa. Para essa integração, os chineses se interessaram na implementação das tecnologias da SG, onde denominaram-lhe como “Internet Energética”.

O conceito foi introduzido pela primeira vez pelo Jeremy Rifkin no livro “A Terceira Revolução Industrial”, publicado em 2012. De acordo com o autor, a internet energética é caracterizada de acordo com objetivos do país, entre os quais tem-se: aproveitamento das energias renováveis, crescimento da geração distribuída, compartilhamento de energia em área ampla por consumidores e eletrificação dos sistemas de transporte (LEK, 2019).

CAPÍTULO 3 - TECNOLOGIAS APLICADAS EM SMART GRID

Considerando a evolução lenta das tecnologias no sistema de fornecimento e consumo de energia elétrica, o setor elétrico enfrenta desafios modernos que ameaçam a eficiência no processo da entrega de energia elétrica, entre os quais tem-se: ataques cibernéticos; crescimento exponencial dos sistemas de compensação; “metas de conservação que visam diminuir a demanda de pico que surge durante o dia, de modo que menos energia seja desperdiçada; dispositivos controlados digitalmente, que podem alterar a natureza da carga elétrica” (CGEE, 2012), dentre outros. Com isso, para enfrentar os desafios acima citados, as *Smart Grids* integram diferentes tipos de tecnologias que formam o sistema como um todo. A figura 8 ilustra as principais categorias das tecnologias que compõem um SG (BEZERRA; SILVA; ARAOJO, 2018).

Figura 8 - Categorias tecnológicas constituintes das Smart Grids



Fonte: IEA (2011) apud CGEE (2012, p. 92)

A tabela 2 representa uma breve descrição relacionando cada categoria descrita na figura anterior, demonstrando os principais *hardwares* e *softwares* utilizados no sistema.

Tabela 2 - Descrição das categorias tecnológicas da Smart Grid

Categoria	Hardware	Software
Monitoramento e controle de longas áreas	Sensores	Sistemas SCADA, WAMS, WAAPCA e WAS

Integração de informação e comunicação	Equipamentos para comunicação (PLC, WIMAX, LTE, RF mesh, Celular), Roteadores, Gateways e Computadores	Sistemas ERP e CIS
Integração de geração distribuída e de fontes renováveis	Equipamentos de geração, Inversores e armazenamento de eletricidade	Sistemas EMS, DMS, SCADA e GIS
Aprimoramento da transmissão	Supercondutores, FACTS, HVDC	Sistemas de análise de estabilidade da rede e de recuperação automática
Gerenciamento da rede de distribuição	Chaves religadoras automáticas com sensores, sensores em transformadores e em cabos condutores	Sistemas GIS, DMS, OMS e WMS
Infraestrutura de medição avançada	Medidores eletrônicos inteligentes, Mostradores visuais de consumo e Computadores	Sistemas MDMS e de faturamento de energia
Infraestrutura de carregamento de veículos elétricos	Baterias, Inversores e Unidades automatizadas de abastecimento	Sistema de faturamento de energia, G2V e V2G
Gerenciamento pelo lado do consumidor	Mostradores visuais de consumo, Dispositivos portáteis e Equipamentos atuadores	Sistemas visuais de consumo, de gerenciamento de consumo doméstico e aplicações móveis

Fonte: IEA (2011) apud CGEE (2012, p. 93)

Para Bandeira (2012), as *Smart Grids* são compostas basicamente por três subáreas que se conectam e comunicam entre si. A primeira subárea caracteriza-se por sistemas de fornecimento, desde geração centralizada até na entrada do medidor, ou seja, de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Nessa subárea, as tecnologias das *Smart Grids* se responsabilizam especificamente por controle em tempo real da variação na curva de carga e do fluxo energético nas linhas de transmissão e distribuição, evitando as sobrecargas, curtos-circuitos e geração com níveis de potência desnecessárias em determinadas horas do dia.

A segunda subárea se caracteriza pelo medidor, denominado de “Medidor Inteligente”, (em inglês, *Smart Meter* - SM), que se localiza entre o sistema de fornecimento de energia e consumo. Segundo Santos (2017), com as *Smart Meters* será possível a diminuição drástica dos erros cometidos por agentes de medição que é um dos benefícios para o consumidor e concessionárias, tornando desnecessária a contratação dos funcionários para fazer medição nas residências, indústrias e comércios.

A terceira e última subárea se relaciona ao consumo racional da energia elétrica, ou seja, a aplicação de inteligência nas unidades consumidoras, de modo que são utilizados

eletrodomésticos inteligentes ou dispositivos inteligentes nas tomadas, capazes de se comunicar e executar comandos (liga/desliga) nos momentos necessários. A inteligência não será aplicada só para os eletrodomésticos, mas também serão capazes de executar comandos da conexão entre consumidor e rede de distribuição, fornecendo ou absorvendo a energia elétrica da rede.

3.1 Sistema de fornecimento

Um dos desafios do setor elétrico é estabelecer uma boa qualidade no sistema de fornecimento da energia, ou seja, estabilizar a oscilação entre oferta e demanda da energia elétrica, principalmente nos horários de maior consumo energético (hora ponta). De acordo com CGEE (2012), às oscilações são mais frequentes nas redes de distribuição de energia elétrica, com isso a SG se aplica basicamente a ela, solucionando problema de oscilação e conexão das fontes descentralizadas como uma das formas de suprir demanda energética com qualidade e segurança.

3.1.1 Geração

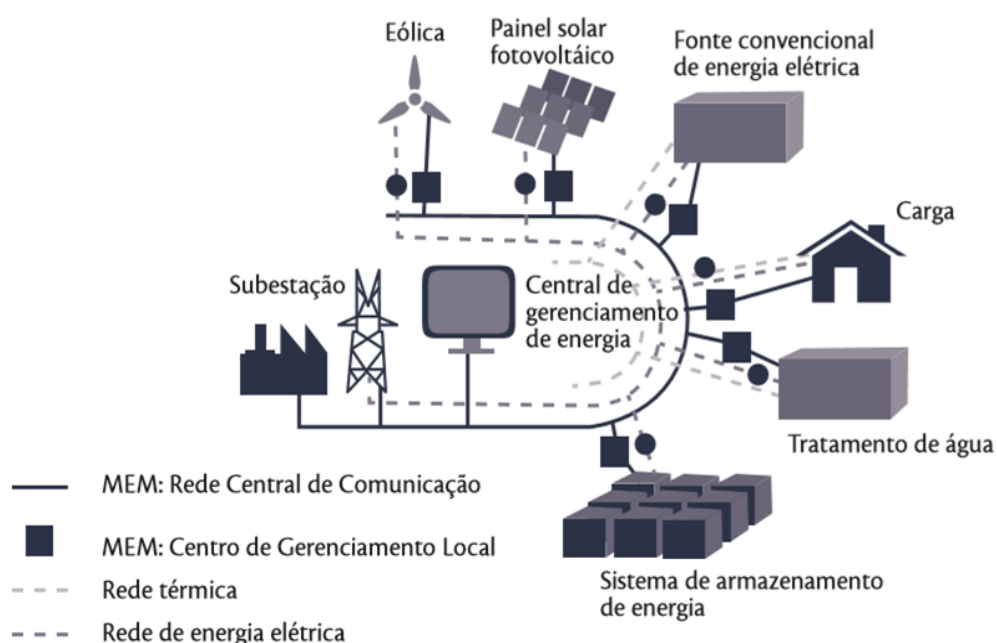
As fontes de geração de energia elétrica se dividem em centralizada e descentralizada. A Geração Centralizada (GC) “consiste em centrais geradoras de médio e grande porte localizadas em pontos mais ou menos distantes dos centros de consumo” (FALCÃO, 2010), e são caracterizados por diferentes tipos de tecnologias que convertem diferentes tipos de energia primária em eletricidade. Ao passo que, as fontes descentralizadas são pequenas centrais localizadas bem próximas do consumidor, cujo o proprietário é o próprio consumidor. Estas possuem “características de despacho diferentes das convencionais e vão exigir o desenvolvimento de técnicas inteligentes de despacho, de forma a considerar suas características sazonais e intermitentes” (CGEE, 2012).

E ainda, a GD é denominada também de mini ou micro geração distribuída dependendo da faixa de potência instalada. Por exemplo: no Brasil, de acordo com a Resolução Normativa nº 687/2015, revisada através da Resolução Normativa nº 482/2012 publicado pelo ANEEL, quando uma central geradora é conectada à rede de baixa tensão com uma potência instalada de até 75 KW é denominado de micro geração distribuída, da mesma forma, quando é conectado à rede de média tensão com uma potência superior a 75 kW é denominado de mini geração (ANEEL, 2018).

Com a interligação das GDs ou prosumidores na rede de baixa ou alta tensão criam um novo tipo de sistema de potência denominado de micro ou mini rede, que se divide em dois

tipos: isolada ou conectada à rede de distribuição. Ou ainda, segundo CGEE (2012), “a micro / mini rede é um sistema de energia que pode operar em modo autônomo ou como parte da rede principal de energia elétrica, conectada por meio de um ponto de acoplamento”. Ou seja, é um subsistema que pode ou não conectar com o sistema de fornecimento da energia pública. No momento em que existe interligação entre várias mini/micro redes operando na mesma frequência, cria-se um novo sistema denominado Planta Virtual de Geração (PVG), que “são operadas coletivamente por uma entidade de controle centralizado, pois assumem a grandeza de uma planta convencional, podendo operar no mercado de energia elétrica” (CGEE, 2012). Como pode ser visto na figura 9:

Figura 9 - Planta virtual de geração



Fonte: MGX (2012) apud CGEE (2012, p. 95)

3.1.2 Transmissão

A necessidade da obtenção de muitas informações existentes nas linhas de transmissão que possibilitará melhor qualidade ou elevada eficiência na transmissão da eletricidade, proporcionou a implementação de SGs nas linhas de transmissão. De acordo com CGEE (2012), algumas áreas em desenvolvimento são:

- Monitoramento online de ativos: pode-se dizer que são mecanismos avançados utilizados para monitorar em tempo real o fluxo da eletricidade, assim como os outros componentes que fazem parte do sistema de transmissão, possibilitando

a detecção rápida de eventuais problemas e evitando as sobrecargas nas linhas de transmissão;

- Controles eletrônicos inteligentes: basicamente são utilizações dos dispositivos eletrônicos inteligentes, capazes de estabilizar ou manter a qualidade da energia elétrica que está sendo transmitida, mantendo assim padrões elevados de qualidade. Entre os mais utilizados tem-se: FACTS e HVDC;
- Proteção: com os dispositivos inteligentes abordados na alínea anterior, o sistema de proteção adquire capacidade de reconfigurar ajustes online de acordo com padrão estabelecido, adaptando novos ambiente que permitem o melhor funcionamento para o sistema;
- Automação de sustentação: “com a integração de sistemas de monitoração, controle e proteção de subestações utilizando protocolos padrões de comunicações e transferência de dados” (CGEE, 2012).

3.1.3 Distribuição

É de extrema importância a implementação das tecnologias das SGs nas redes de distribuição, para permitir o monitoramento em tempo real, “balancear as cargas, prever a interrupção do fornecimento de energia detectando e isolando automaticamente as faltas, reconfigurando e restaurando o fornecimento do serviço, além de fazer o controle de tensão e do fluxo de potências” (CGEE, 2012). Ainda com a sua implementação, também será possível a utilização dos medidores inteligentes capazes de fornecerem informações para o consumidor e concessionária sobre o consumo de energia elétrica em tempo real, sem contar com a facilidade de incorporação dos sistemas de compensação da energia elétrica que o proporcionará para os consumidores.

Entretanto, é evidente que as redes de distribuição estarão muito mais preparadas para enfrentar novos desafios com a implementação das tecnologias da SG. Atualmente, existem muitas empresas e universidades trabalhando na produção e desenvolvimento das SMs, porém, para a maioria dos países, a etapa primária para implementação das SGs é a instalação das SMs nas unidades consumidoras. Hoje em dia o mercado da produção das SMs está crescendo, gerando empregos nos países pioneiros da sua implementação.

3.2 Smart Meter (SM)

Os medidores eletromecânicos são os mais utilizados atualmente quando se refere ao controle ou registro de consumo da energia elétrica. Eles são utilizados principalmente nas residências registrando o consumo acumulado das potências ativas das unidades consumidoras. A Figura seguinte ilustra um medidor eletromecânico utilizado nas residências.

Figura 10 - Medidor monofásico utilizado nas residências



Fonte: R3-AUTOMAÇÃO (2019)

Tendo em vista a necessidade de faturamento da energia elétrica consumida, os órgãos responsáveis pela tarifação da energia elétrica enviam leituristas em cada residência ou unidade consumidora para realizar leitura com a frequência de uma vez por mês, em que o processo é realizado manualmente. “Além de tornar-se mais complexo com o aumento do número de consumidores das concessionárias, também é passível de erros de leitura por se tratar de um processo envolvendo fatores humanos” (AMARAL, 2014). Devido essas dificuldades, propiciou a criação e o desenvolvimento das SMs diminuindo assim o custo e desperdício da energia.

O SM denominado também em inglês de *Advanced Metering Infrastructure* (AMI) pode ser definido como um dispositivo eletrônico (composto de *software* e *hardware*) com a função principal de registrar o consumo da energia elétrica, além de permitir comunicação remota e bidirecional entre concessionária e consumidores da energia elétrica. O SM também proporciona informações em tempo real do consumo de energia elétrica dos eletrodomésticos

para o consumidor, impulsionando o consumidor a um consumo racional da energia elétrica (SCIAMANA, 2011). A figura 11 ilustra um Smart Meter do modelo acuvim II.

As funções dos SMs não se limitam só aos supracitados, pois a lista de vantagens e benefícios é enorme, considerando o uso dele desde subestações até nas unidades consumidoras. E, por outro lado, o SM é um dos componentes do sistema da SG precursor na implementação do sistema como um todo, devido a sua menor complexidade na instalação e rápido benefício que o mesmo traz para consumidor e concessionária (KROIN 2018).

Figura 11 - Smart Meter do modelo Acuvim II



Fonte: ENERMOX (2020)

3.3 Tecnologias de comunicação da *Smart Grid*

Contemporaneamente, é evidente observar a evolução tecnológica dos serviços de comunicação em direção a internet de banda larga. De modo que, de acordo com Gellings (2009), a telecomunicação no setor elétrico pode ser vista nas aplicações como monitoramento de rede que foi abordado anteriormente, telemetria, ações de ligar e desligar de uma forma remota e tecnologias que proporcionam o uso eficiente no consumo energético.

Para uma SG com alto nível da dinamicidade, é necessário tecnologia de comunicação de alta velocidade integradas nos sistemas, e que contenha uma das características que possibilite mais de uma via da troca de informação em tempo real. Isso se deve a uma tecnologia com “arquitetura aberta, na forma de um ambiente *plug-and-play* segura para componentes, clientes e operadores, permitindo-lhes falar, ouvir e interagir” (CGEE, 2012). Muitas dessas

tecnologias existem hoje no mercado brasileiro, assim como em outros países desenvolvidos, muito embora exista ainda um percentual pouco significativo que se encontra em desenvolvimento com previsão da conclusão até o final de 2020. Com isso, segundo Silver, Spring, Network e Axxiom (2009) *apud* CGEE (2012), para obtenção de um desenvolvimento pleno das SGs é necessário cumprir com os requisitos seguintes: bidirecionalidade, escalabilidade, bases abertas, tolerância a falhas, confiabilidade, segurança, custo justo, atualização e gerenciamento.

De acordo com CGEE (2012), às tecnologias de comunicação das SGs se divide em dois tipos, banda larga e banda estreita, e podem ser licenciadas ou não licenciadas. Quando é licenciada, o órgão regulador se responsabiliza pela sua regulamentação que geralmente são definidas num ambiente de novas ideias, análises, conclusões e até na sua publicação através dos profissionais responsáveis. Ao passo que, quando não é licenciada o sector elétrico procura o licenciamento por meio dos fabricantes da própria tecnologia. Independentemente do tipo da comunicação citado em cima, o meio de transmissão dos dados pode ser dividido em dois tipos, cabeado e não cabeado.

3.3.1 Tecnologia de comunicação cabeada

As tecnologias de comunicação cabeadas são basicamente condutores compostos por materiais metálicos e não metálico, formando diferentes tipos de cabos que podem ser coaxiais, metálicos, fibra óptica, entre outros. Essas tecnologias possuem como maior vantagem robustez e alta eficiência na transmissão dos dados e, conseqüentemente, o custo da instalação e manutenção são elevados, porém para a sua aplicação em SG ele se destaca em dois tipos principais, fibra óptica e *Power Line Communication* (PLC).

3.3.1.1 Fibra óptica

A fibra óptica pode ser definida como “fios longos e finos de vidro muito puro, com o diâmetro aproximado de um fio de cabelo humano, dispostas em feixes chamados cabos ópticos é usada para transmitir sinais de luz ao longo de grandes distâncias” (BERTOLOTO; GUSHIKEN, 2011). E ainda pela mesma fonte, é mencionado que esta tecnologia apresenta uma eficiência elevada quando se trata da distância e largura da banda em relação aos fios de cobre usados nos sistemas de comunicação, e os seus componentes básicos em um sistema de comunicação se distinguem em transmissores ópticos (composto por gerador de luz e circuito de modulação associado), cabo de fibras ópticas, receptor óptico (fotodetector), juntas e conectores ópticos (as juntas são utilizados para conexão permanente e os conectores para as

conexões temporárias), acopladores, multiplexadores ou demultiplexadores ópticos e amplificadores ópticos.

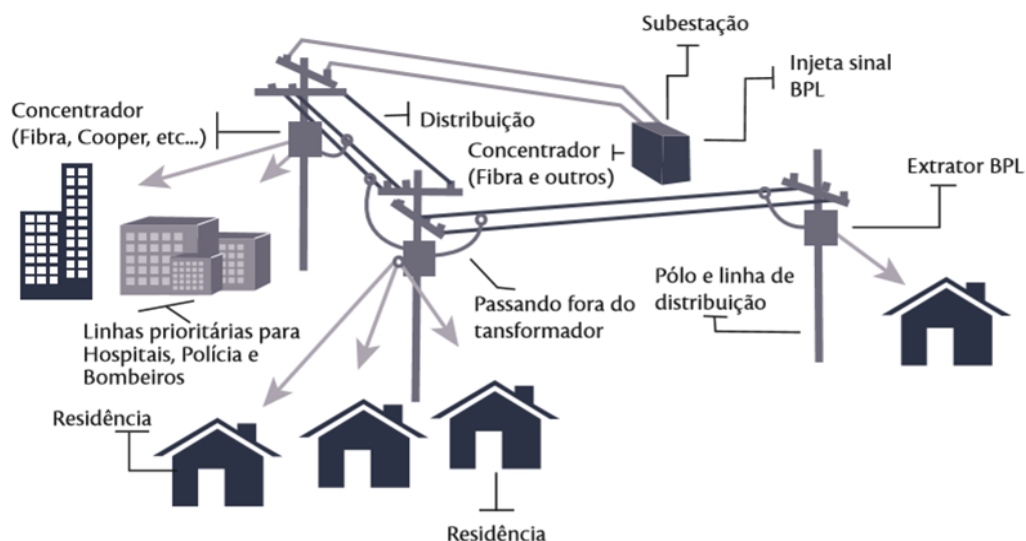
De modo geral, cabos de fibra óptica são aplicados em diferentes tipos de redes de comunicação. Para SG ele se aplica com mais frequência nas estruturas avançada dos sistemas de medição (SMs), em que o sistema de medição é composto por três redes principais, que são a *Wide Area Network* (WAN), *Neighbourhood Area Network* (NAN) e *Home Area Network* (HAN). Basicamente, o sistema funciona da seguinte forma: HAN são instaladas nas residências permitindo a comunicação, controle dos dispositivos e armazenamento dos dados no medidor instalado na residência. Entre comunicação dos medidores nas residências vizinhos são aplicados a rede NAN por ter maior área de cobertura comparada com HAN, e menor em comparação com WAN que é aplicado nas comunicações entre medidor inteligente e o sistema de controle, por meio de um concentrador que armazena todos dados enviados pelo NAN (PELIELO; ACCÁCIO; MOYSÉS, 2016).

3.3.1.2 Power Line Communication

As PLCs, são uma das tecnologias que muitos autores defendem a sua utilização no sistema das *Smart Grids* tendo em conta as suas transferências de dados por condutores metálicos. Basicamente, “o funcionamento da PLC se dá a partir da instalação de um equipamento em um ponto próximo ao transformador de energia elétrica, no qual o sinal PLC é injetado nos cabos de energia elétrica” (PEREIRA; BETIOL, 2018 p. 5). Ou seja, é uma tecnologia que utiliza as redes de média e baixa tensão para transportar os dados de comunicação em alta velocidade, economizando assim o custo na instalação de novos cabos ou de um outro tipo da tecnologia para comunicação. Entretanto, para configuração do PLC são necessários os seguintes componentes: concentrador, repetidor, modem PLC, unidade de acoplamento e equipamentos de subestação (ANDRADE, 2010).

Com isso, é evidente que a tecnologia PLC está promovendo a implementação das SGs em uma larga escala, em que muitos países já estão criando resoluções que permitam o compartilhamento das redes elétrica. Por Exemplo, no Brasil a Agência Nacional de Comunicação (Anatel), juntamente com a ANEEL, estipularam Resoluções (Nº.527/2009, de 08 de abril de 2009 e nº 375/2009, de 25 de agosto de 2009) que regulam condições necessárias para o compartilhamento das infraestruturas de rede elétrica para utilização da transferência de dados que constrói o fluxo de comunicação. A figura 11 representa um exemplo básico da configuração de uma rede PLC.

Figura 12 - Exemplo de uma configuração básica da rede de comunicação PLC



Fonte: IOST (20010) apud CGEE (2012, p. 117)

3.3.2 Tecnologias de comunicação não cabeadas

A utilização das tecnologias de comunicação não cabeadas, ou seja, tecnologias sem fio aplicado a SG, são de grande vantagem em termos da velocidade de transmissão dos dados, menor custo da instalação e manutenção e ainda apresenta zero impacto em termos da locomoção das pessoas, principalmente nas zonas urbanas. Entre elas pode-se destacar as seguintes que são mais utilizados na implementação das SG até o momento: redes de celulares, *mesh*, *ZigBee* (ZB), WiFi e Bluetooth.

3.3.2.1 Redes de celulares

Para o primeiro destaque, que é a utilização das redes de celulares, os padrões de tecnologia mais utilizado são: HSPA, EVDO, WCDMA, AMPS, CDMA, TDMA, GPRS, EDGE e GSM. Dentre essas tecnologias, a mais utilizada na transmissão dos dados da SG em longa e média distância é a GPRS - *General Packet Radio Service*, a tecnologia é caracterizada por ser mais ágil e com capacidade suficiente de disponibilizar conexão aos recursos da internet com alcance maior. A sua aplicação pode ser vista nos seguintes exemplos: “Telemetria, telesupervisão, telecomando, gestão de contratos, detecção de falhas e integração de sistemas corporativos das concessionárias” (CGEE, 2012).

Figura 13 - Exemplo de aplicação do GPRS em Smart Meter



Fonte: NANSEN (2012) apud CGEE (2012, p. 119)

Com a evolução das tecnologias de comunicação dos celulares 3G e 4G, a SG entrará em uma nova geração, onde a tecnologia sem fio será utilizada nas camadas locais da rede de distribuição, interligando os medidores e os dispositivos eletrônicos inteligentes (IED). Salienta-se às tecnologias 3G e 4G são também caracterizadas por bidirecionalidade e alta taxa de transmissão de dados, proporcionando rápidas e confiáveis respostas a eventuais ações.

3.3.2.2 Rede *mesh*

A rede *mesh* é uma das redes mais destacadas na implementação das tecnologias de SG, ela é basicamente a incorporação da inteligência na rede WIFI, caracterizado por ter vários pontos de acessos que podem ser denominados também de nós, que se distancia de um e de outro e se interconecta. Ainda ele é caracterizado por uma comunicação bidirecional por meio de radiotransmissores alimentado por uma reserva de bateria, a cobertura da rede *mesh* pode ser de longa e curta distância, de modo que a longa distância é feita com o aumento de número de nós de acordo a área necessária (PRZYBYSZ; JÚNIOR, 2006).

Tendo em conta a topologia da rede Mesh, a mesma tem como uma das principais vantagens manter o sistema em funcionamento quando um dos nós se encontra inoperável. Diante desta situação os nós vizinhos se interconectam e identifica o nó inativo assumindo assim a função dele. Portanto, o sistema garante confiabilidade, rapidez e robustez da rede. A rede *mesh* é aplicado nas infraestruturas das SMs, proporcionando uma conexão eficiente e confiável para o sistema como um todo.

Figura 14 - Exemplo da aplicação da rede *Mesh* na infraestrutura de rede elétrica



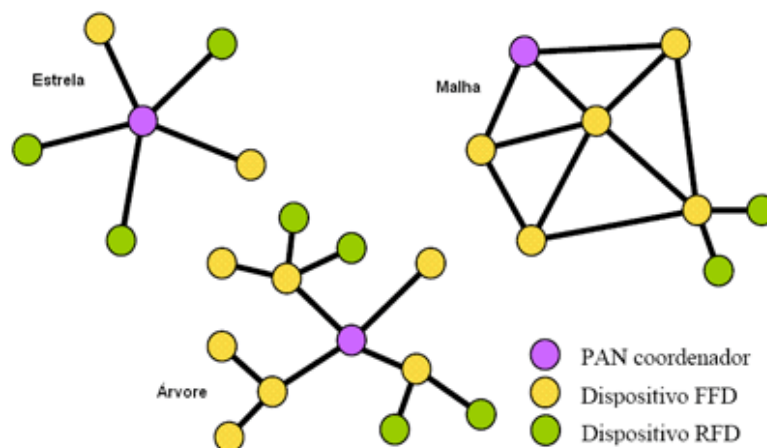
Fonte: LANDIS+GYR (2012) apud CGEE (2012, p. 121)

3.3.2.3 Redes ZigBee (ZB)

A tecnologia ZB foi desenvolvida por parceria entre o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) e o Grupo Alliance (Aliança ZigBee), como uma das alternativas para o meio de comunicação. ZB é uma das tecnologias mais simples e acessíveis, caracterizada por menor consumo de potência, aumentando, assim, a vida útil dos seus equipamentos. Também proporciona nível alto de uso em relação às outras tecnologias sem fio com as mesmas funções, e ainda possui arquiteturas em três modelos: estrela, árvore e malha (SÍRIO, 2018).

A topologia em estrela é o modelo mais simples em relação aos outros, pois possui um único coordenador, curto alcance e necessita de um ambiente com menos obstáculos diferentes das topologias em malha, que é caracterizada por ter maior flexibilidade na rede em relação ao ajuste automático ao conectar um novo dispositivo e apresenta possibilidades de construção de redes com coberturas extensas. Por último, tem-se a arquitetura em árvore que é formada por subredes que se comunicam por meio de roteadores, gerando mais de um coordenador, um por cada subrede e possibilita maior área de cobertura com obstáculos. Com isso, pode-se ver que a tecnologia *ZigBee* apresenta mais de uma vantagem dependendo da sua topologia. A figura 14 apresenta os três modelos da topologia abordado junto com os seus coordenadores e dispositivos, onde o PAN é o coordenador central, FFD é o dispositivo de função completa (roteador) e o RFD é o dispositivo de função reduzida (dispositivo final).

Figura 15 - Topologias da rede ZigBee



Fonte: UFRJ-gta (2019)

3.3.2.4 WiFi

A tecnologia *Wireless Fidelity* popularmente conhecida pela sua abreviatura “WIFI”, é desenvolvida pela Wi-Fi Alliance de acordo com o conjunto de normas do IEEE 802.11, sendo uma das tecnologias mais utilizadas na subárea do consumo do sistema das *Smart Grids* pela sua principal vantagem, que é transferência dos dados sem uso dos cabos e com menor consumo da energia elétrica. As tecnologias ZB e WIFI são utilizadas nas transmissões em rádio frequência, onde ZB é usada para conectar medidores aos pontos coletores e o WIFI conecta os pontos coletores aos centros de comando e gerenciamento.

3.3.2.5 Bluetooth

A tecnologia Bluetooth caracterizada por baixo custo, baixa potência, e curta distância, foi desenvolvida inicialmente com intuito de permitir a conexão entre quaisquer dispositivos, de modo que, os custos da implantação e o consumo de energia sejam reduzidos. Com essas características, a mesma se tornou de suma importância entre as tecnologias da SG e a sua aplicação se restringe a conexão entre os dispositivos inteligentes (coordenador e executor) dentro da área do consumidor (REGO; LOURAL; GIANANTE, 2012).

A tabela seguinte demonstra um resumo das principais características das tecnologias de comunicação para implementação de *Smart Grid*.

Tabela 3 - Descrição das características das tecnologias da Smart Grid

TECNOLOGIA	ESPEC-TRO	BAN-DA	ALCAN-CE	TOPO-LOGIA	IMUNI-DADE A RUÍDOS	CUS-TO	CON-SUMO
GPRS	900-1800 MHz	Até 170 Kbps	1-10 km	SGSN GGSN	Alta	Baixo	Médio
Wi-Fi/IEEE 802.11	2.4-5.8 GHz	Até 155 Mbps	1-300 m	Camada de Enlace/OS I Ponto Multiponto	Média	Baixo	Alto
PLC	3-500 kHz 1.8-30 MHz	1-3 Mbps Até 200 Mbps	1-3 km	Barramento (BT) Anel (MT)	Baixa	Alto	Alto
ZigBee	2.4 GHz 868 MHz 915 MHz	Até 250 Kbps	30-150 m	Estrela Árvore Malha	Alta	Baixo	Baixo
Bluetooth IEEE 802.15	2.4 – 2.4835 MHz	Até 721 Kbps	1-10m	Camada Física/OSI Ponto Multiponto	Alta	Baixo	Baixo

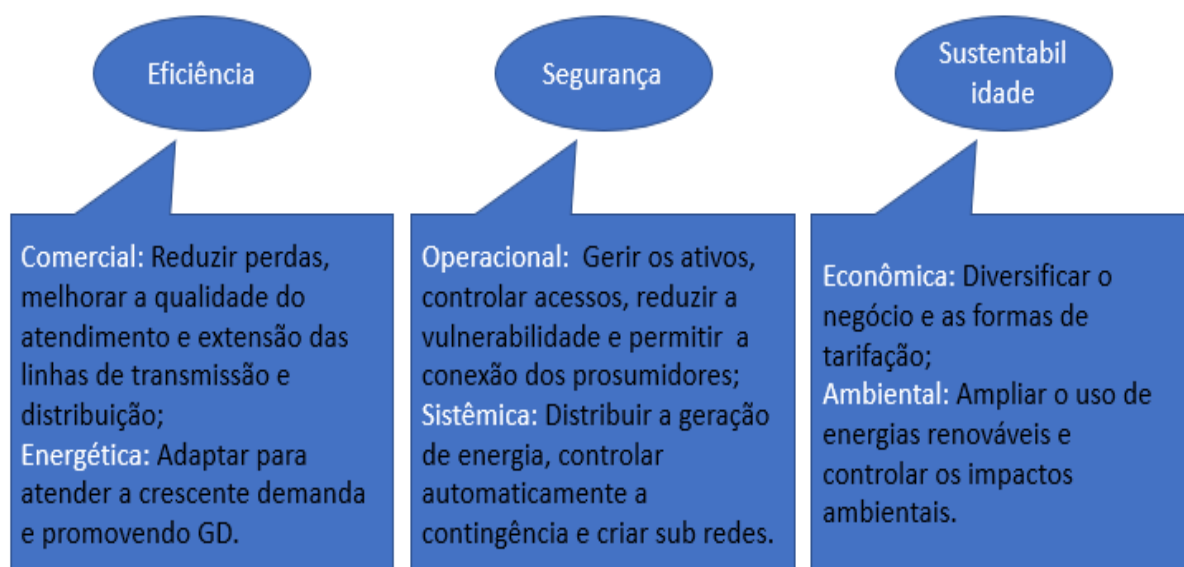
Fonte: COSTA (2014)

CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO INICIAL DA PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DA SMART GRID EM GUINÉ-BISSAU

Com as pesquisas e análises feitas ao longo do desenvolvimento do presente trabalho, foi possível constatar os interesses e objetivos que a Guiné-Bissau pode possuir na implementação das tecnologias de *Smart Grid*, considerando a localização dos recursos naturais que podem ser convertidos em eletricidade em função da variação climática do país. E ainda a ineficiência no atual sistema de fornecimento pública da energia elétrica, as novas produções da eletricidade por geradores a diesel que são distribuídas em más condições em termos da segurança no que diz respeito as novas redes de distribuição de 220 V criado pela iniciativa individuais e coletivas dos moradores devido à falta de eletricidade pública. E por outro lado, fazendo comparação em termos da similaridade de tais recursos entre Guiné-Bissau e Brasil, pode-se dizer que os fatores que influenciarão os interesses e objetivos da Guiné-Bissau para a implementação das tecnologias da SG não serão muito distantes em comparação com os que influenciam o Brasil.

De acordo com as análises feita por Gabino (2019) em relação ao interesse e objetivos do Brasil e adicionando com as análises realizada ao longo do desenvolvimento do presente trabalho, constatou-se, que existem três principais fatores que podem influenciar a motivação para implementação de *Smart Grid* em Guiné-Bissau, dentre elas a figura 15 ilustra:

Figura 16 - Motivações para implementação das tecnologias da SG em Guiné-Bissau



Fonte: GABINO (2019)

4.1 Desenvolvimento Inicial da Proposta para Implementação da SG

Como foi abordado nas seções anteriores, atualmente a geração de energia elétrica em Guiné-Bissau é feita por meio de grupos de geradores a diesel com capacidade instalada de aproximadamente 13,7 MW de potência, injetada nas redes de transmissão e distribuição de 10 kV, 6 kV e 220 V, com a frequência de 50 Hz. Do montante supracitado 12,7 MW são gerações da EAGB e 1 MW provém das centrais públicas no interior do país. Com isso, considerando o crescimento populacional proporcional ao consumo da energia elétrica, é evidente que a capacidade da rede mencionada acima não será suficiente para suprir as futuras demandas energéticas no país, entretanto, foi projetado até o momento novas redes de distribuição para o sector autónomo de Bissau (capital do país). A figura 15 representa a futura rede de transmissão e distribuição projetada.

Figura 17 - Projeção da futura rede de distribuição no capital do país



Fonte: MEI (2017, p. 36)

Com as novas projeções da figura 15 e a capacidade das linhas de transmissão e distribuição abordados no parágrafo anterior, proporcionou-se uma análise que permite a escolha das tecnologias mais promissoras entre os mencionados na tabela 3 para o desenvolvimento inicial da proposta que possibilita a implementação das tecnologias da SG em Guiné-Bissau.

Considerando o custo-benefício e as características que as tecnologias possuem, a *ZigBee* é o mais ideal para implementação inicial das tecnologias da SG nas unidades

consumidoras de baixa tensão, pois proporciona uma comunicação ou transferência dos dados entre concessionárias e os consumidores com alto valor da eficiência.

Para a escolha dessa tecnologia foi determinado também a topologia que se enquadra melhor no país, considerando as construções de médio porte e plantações robustas que podem interferir na transmissão dos dados, foi definido que a topologia em árvore é o mais adequado para as áreas urbanas com maior concentração populacional, e as áreas rurais assim como urbanas com menor concentração populacional é mais adequado a topologia em malha. A necessidade dessas duas escolhas se deve ao custo das topologias e a existência dos obstáculos capazes de interferir na transmissão dos dados.

A tecnologia também possui baixo consumo da energia elétrica por parte dos seus dispositivos ou assessores que o formam como um único sistema. Também de acordo com a tabela 3, a rede ZB tem uma imunidade alta em relação aos ruídos proporcionando uma boa eficiência na transmissão dos dados. Considerando a ideia inicial da SG, de não transmitir volumes elevado dos dados, a largura da banda que a tecnologia possui consegue satisfazer critérios básicos para o funcionamento inicial da *Smart Grid*.

Um outro motivo que impulsionou a escolha da tecnologia *ZigBee*, é a compatibilidade que ele tem com as Smart Meter através de uma placa incorporado nele que permite o uso da tecnologia ZB (COSTA, 2014). O uso da *Smart Meter* é de extrema importância no desenvolvimento dessa proposta inicial, porque, através dele que será possível o sistema de compensação da energia elétrica, e ainda impulsionará o consumo racional da energia elétrica por meio da interação entre consumidores e modelos da tarifação.

Para as redes de média e alta tensão com base nas análises das descrições da tabela 3, constatou-se que, o GPRS é a tecnologia mais ideal para transmissão dos dados nessas redes. Considerando as suas características e custo-benefício como base na sua escolha, pode-se citar as seguintes:

- O primeiro critério se baseou na possibilidade de compartilhamento das redes de celulares que o país já possui, de modo que a geração centralizada do país se encontra dentro da área de cobertura das redes de celulares, pois minimizará o custo no caso da instalação de novas redes de comunicação. Já para as futuras conexões das fontes centralizadas com as unidades consumidoras do plano 2015 – 2030, será necessário a instalação de novas torres para cobrir as áreas mais distantes.
- GPRS dispõe também de alta imunidade a ruídos e longa alcance, proporcionando uma cobertura nas áreas urbanas e até rurais, logo será muito

vantajoso para as unidades consumidoras destas áreas. Além disso, a tecnologia possui um alto nível da eficiência espectral, suportando elevado número da conexão dos consumidores.

Com esta configuração inicial o funcionamento da *Smart Grid* será garantido, de modo que a tecnologia ZB junto com o SM serão responsáveis na obtenção e transmissão dos dados das unidades consumidoras de baixa tensão para média e em seguida passa para alta tensão por meio das tecnologias GPRS e, por fim, para o sistema de gerenciamento e controle. Ressaltando que o maior desafio que pode acontecer na implementação dessa tecnologia em Guiné-Bissau, é o custo das SMs e troca da maioria dos componentes eletromecânicos do atual sistema de fornecimento da energia elétrica (COSTA, 2014).

Entretanto, é relevante priorizar a implementação inicial da *Smart Grid* nas regiões que se destacam com maior potencial em termos de recursos energéticos, de modo que, a implementação das tecnologias da *Smart Grids* nessas regiões permitirá uma inserção rápida das fontes descentralizada nas redes públicas promovendo assim o crescimento da geração distribuída (BARRETTO, 2018).

4.2 Comparação entre redes atuais e *Smart Grid*

Diferentemente das *Smart Grids*, as redes atuais são caracterizadas por dispositivos eletromecânicos ou analógicos que necessitam de acionamento por corrente elétrica ou pela própria ação humana, e os sistemas de fornecimento são unidirecionais em que as informações se direcionam só por um sentido. De modo que, impossibilita informações em tempo real sobre a real demanda dos consumidores, obrigando os geradores trabalharem a maior parte do tempo em potência máxima. E ainda o sistema atual é vulnerável às falhas, pois quando acontece uma em um respectivo ponto, a mesma afeta quase todo o sistema interligado a aquele ponto, gerando assim um corte de energia para muitas áreas distantes de onde a falha se encontra (ALONSO, 2014).

Ao passo que, o sistema em estudo se dispõe das tecnologias digitais e transmissão das informações bidirecionais, permitindo um sistema de monitoramento em tempo real por parte das concessionárias e consumidores ao mesmo tempo. Além disso, suas tecnologias proporcionam a diversificação da matriz elétrica, beneficiando assim concessionárias, consumidores e meio ambiente. A tabela seguinte ressalta de uma forma comparável as principais diferenças entre o atual sistema convencional e a *Smart Grid*.

Tabela 4 - Tabela de comparação entre rede atual e Smart Grid

Principais Característica	Rede Atual	Smart Grid
Participação ativa dos consumidores:	São informados, mas não participam da rede.	Informados e ativos – resposta em demanda e fontes de energias distribuídas.
Geração e opção de armazenamento da energia:	Centralizada na usina geradora – muitos obstáculos na distribuição e transmissão da energia.	Energia distribuída com foco no uso das fontes renováveis.
Qualidade da energia ofertada:	Baseada em cortes, resposta lenta em relação as falhas de energia.	Foco na qualidade da energia, na relação qualidade/preço. Resposta rápida a falhas.
Novos produtos, serviços e mercado:	Mercados limitados, mal integrados, oportunidades limitadas para os consumidores.	Mercado integrado com amplas oportunidades para o consumidor.
Otimização e Operação dos ativos de forma eficiente:	Pouca integração dos dados operacionais com a gestão de ativos.	Maiores parâmetros de dados de rede, poço na prevenção e minimização dos impactos para o consumidor.
Resposta as perturbações do sistema (self-healing):	Responde para evitar danos maiores, foco em proteger os bens após a falha	Detecção e resposta automática aos problemas, foco na prevenção, minimização dos impactos para os consumidores.
Resistência a ataques virtuais e desastres naturais:	Vulnerável, lenta resposta.	Resistente, possui alta capacidade de recuperação.

Fonte: COSTA (2014, p. 85)

Com as comparações feitas na tabela 4, fica evidente que a implementação das tecnologias da *Smart Grid* no setor elétrico guineense ou em qualquer outro país interessado

será muito vantajosa, de modo que, as concessionárias assim como as unidades consumidoras se beneficiarão bastante em relação ao atual sistema de fornecimento. Pois, considerando a crescente demanda energética no mundo, a *Smart Grid* possui recursos que podem garantir a integralização das fontes renováveis e descentralizadas nas redes, permitindo o consumidor final ser mini ou micro gerador da energia, como uma das formas de minimizar o custo de energia, e suprir as demandas energéticas de maneira sustentável.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com intuito de melhorar a qualidade de vida, o homem sempre procurou substituir as forças brutas em trabalho mecânico. E com decorrer do tempo, a ideia da substituição proporcionou a evolução tecnológica em paralelo com a utilização da eletricidade, entretanto, hoje em dia, o maior percentual dos trabalhos mecânicos são convertidas em trabalho eletromecânicos e digitais, impulsionando um crescente consumo da energia elétrica no mundo, de modo que, surgiram novos desafios para humanidade, entre elas, a procura da melhor forma de geração, transmissão, distribuição e consumo da energia elétrica com maior segurança e sustentabilidade.

Nessa perspectiva impulsionou-se a escolha do tema, onde ao longo do seu desenvolvimento percebeu-se que o conceito correspondente ao tema que é a SG é muito novo ainda, de modo que, muitos países, inclusive Guiné-Bissau, desconhecem até o momento da existência dessa tecnologia, ao passo que, alguns países desenvolvidos e emergentes já se encontram no processo de implementação dessas tecnologias e em paralelo com o desenvolvimento dos projetos da mesma. Diante disso, tendo em conta os benefícios que a SG possui, é evidente que a aderência a essa tecnologia está crescendo de uma forma exponencial em função da evolução das tecnologias digitais e interesses que cada país contem como motivação para sua implementação.

Para Guiné-Bissau que é o país alvo do estudo e análise da sua implementação nesse trabalho, concluiu-se que é de grande necessidade a utilização das tecnologias da SG no setor elétrico, objetivando a melhoria do sistema de fornecimento e consumo, e ainda suprir as futuras demandas energéticas do país. Para isso, aponta-se interesses, objetivos e tecnologias adequadas para implementação das *Smart Grids* por meio de um desenvolvimento inicial de proposta que permite a escolha e combinação da tecnologia *ZigBee* com rede de celulares – GPRS como as mais ideais para o funcionamento inicial da SG nas redes de baixa, média e alta tensão.

Por fim, é relevante salientar que, o presente trabalho é apenas um início entre as contribuições que poderão ser dadas ao longo do percurso acadêmico, visando o desenvolvimento do setor elétrico guineense, assim como no mundo. Com isso, considerando o alto custo do desenvolvimento dos projetos e implementação das tecnologias das *Smart Grids*, será de extrema importância a sugestão dos seguintes temas como a segunda e terceira fase antes da sua real implementação: Análise de custo-benefício para Implementação da Smart Grid em Guiné-Bissau e Avaliação dos Impactos Negativos da Smart Grids em Guiné-Bissau.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, Augusto Matheus dos Santos. **Smart grids: Tecnologias de Comunicação e sua Realidade no Brasil**. 2014. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014. Cap. 7.

AMARAL H. L. M. **Desenvolvimento de um Smart Meter: um estudo sobre eficiência energética através das redes inteligentes**, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/122123/000813588.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 18 Dez. 2019

AMIN, S. M.; Wollenberg, B. F. **Toward a Smart Grid**. IEEE Power and Energy Magazine, v. 3, n. 5, p. 34-38, sep.-oct. 2005.

ANDRADE, R.T. de. **BPL (Broadband over Power lines): Características e Aplicações**. Seção: Tutoriais Banda Larga. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br>>. Acesso em: 16 Dez. 2019.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica, **Geração Distribuída**. Informações técnicas ANEEL, modificado: 15 Ago. 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em: 04 Dez. 2019

BANDEIRA F. P. M. **Redes de Energia Elétrica Inteligentes (Smart Grids)**, 2012. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/areas-da-conle/tema16/2012_7872.pdf> Acesso em: 25 Set. 2019

BARRETTO, Eduardo Pacheco Bueno Muniz. **Smart grid: eficiência energética e a geração distribuída a partir das redes inteligentes**. 2018. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

BERTOLOTO D.; GUSHIKEN Y. **Redes de Fibra Óptica: Conexões Locais em Dimensões Globais no Brasil**. Intercom – Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação – Recife, PE – 2 a 6 de setembro de 2011

BEZERRA, Isadora Vilela; SILVA, Ellen Carmelita Capelo; ARAÚJO, Francisco José Costa. **Redes inteligentes no Contexto da Indústria 4.0**. Seprone, Juazeiro - Ba, v. 15, n. 15, p.1-15, mar. 2018.

CABELLO A. F. **Redes Elétricas Inteligentes no Brasil: A necessidade de uma Avaliação Adequada de custos e Benefícios**, 2009. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/4185/1/Radar_n19_Red.es.pdf Acesso em. 20 Nov. 2019

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos **Redes elétricas inteligentes: contexto nacional**, Brasília, 2012. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Redes_Eletricas_Inteligentes_22mar13_9539.pdf/36f87ff1-43ed-4f33-9b53-5c869ace9023?version=1.2> Acesso em: 17 Out. 2019

CREI - Comunicação **em Redes Elétricas Inteligentes: Eficiência, Confiabilidade, Segurança e Escalabilidade** - Scientific Figure on ResearchGate. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/figure/Figura-35-Os-dominios-de-atores-das-redes-ei-etricas-inteligentes-e-a_fig4_236882661> Acesso em: 1 Dec. 2019

COSTA S. A. H. **Os Desafios da Implantação da Smart Grid no Modelo de Negócios do Setor Elétrico: Proposta de Configuração de uma Rede Inteligente**, 2014. Disponível em: <<http://www.ppgee.eng.ufba.br/teses/4c7a9e54f88e326e2d826727fd6ce03c.pdf>> 24 Set. 2019

EARTH, Google. Acesso em: 22 Nov. 2019

ELETRICISTA, Adolpho. **Sistema Elétrico de Potência – SEP**. Disponível em: <<https://www.adolphoeletricista.com.br/sep/>>. Acesso em: 29 dez. 2019.

ENERMOX, **Enermox Energy**, 2020. Disponível em: <<https://enermox.com.br/produtos/medidores-de-energia/acuvim-ii-series/>> Acesso em: 29 Jan. 2020

FALCÃO, D.M. **Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 3. (SBEE 2010), Belém, 2010. p. 1-5. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/odilon/te339/artigo_smart_grid.pdf> Acesso em: 20 Nov. 2019

GABINO, Nei. **Smart Grid os Benefícios da Rede Inteligente**, 2019. Disponível em: <<https://www.nei.com.br/artigo/smart-grid-os-beneficios-da-rede-inteligente>> Acesso em: 30 Set. 2019

GELLINGS, C. W. **The Smart Grid - Enabling Energy Efficiency and Demand Response**. 1.ed. CRC Press, 2009. 300p.

HISOUR, 2019. Disponível em: <<https://www.hisour.com/pt/smart-grid-39409/>> Acesso em: 14 Nov. 2019

KROIN, N. **Estudo da Tecnologia Smart Grid**, 2018. Disponível em: <file:///D:/Os%20que%20vem/Ambinte/T007/SGsCT_COTEL_2018_1_02.pdf> Acesso em: 18 Dez. 2019

LAMIN, Hugo. **Análise de Impacto Regulatório da Implantação de Redes Inteligentes no Brasil**. 2013. 298 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Cap. 6.

LEK. **Invadindo a era da 'Internet energética' na China: uma análise do desenvolvimento de redes inteligentes da China**, 2019. Disponível em: <<https://www.lek.com/insights/ei/breaking-energy-internet-era-china-analysis-chinas-smart-grid-development>> Acesso em: 22 Dez. 2019

LOPES et al. **Smart Grid e IEC 61859: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico**. Minicurso para o XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações de 2012, Brasília.

LOPES, Yona et al. **Smart Grid e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico**. Researchgate, Salvador, Ba - Brasil, p.1-42, set. 2012.

MEI - Ministério da Energia e Indústria. **Plano de Investimento para Energia Sustentável da Guiné-Bissau**, 2017. Disponível em:

<http://www.ecreee.org/sites/default/files/documents/news/web_plano_de_investimento_optimized.pdf> Acesso em: 24 Set. 2019

MEI - **Plano de Investimento para Energia Sustentável da Guiné-Bissau período 2015-2030**, 2017a. Disponível em: <<http://www.aler-renovaveis.org/contents/files/101117-se4all-ip-gb-v63-final.pdf>> Acesso em: 09 Jan. 2020

MIKOS, Andrew Philip; SCHIOCHET, Bruno; COSTA, Germano Alves da. **Estudo de Viabilidade Técnica da Implementação de Tecnologias de Smart Grid em Consumidores Finais**. 2014. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Ufpr, Curitiba, 2014.

PELIELO, G., ACCÁCIO R., MOYSÉS R. **Smart Grid - Redes Inteligentes**, UFRJ, 2016. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-20161/16_1/smartgrid/> Acesso em: 23 Dez. 2019 PELIELO

PEREIRA, H. R.; BETIOL, A. D. **Transmissão de Dados via Rede Elétrica**, 2018. 14 f. Artigo (Graduação) - e Engenharia Elétrica, Universidade de Araraquara – Uniara, 2018

PIZZANI, Luciana et al. **A Arte da Pesquisa Bibliográfica na Busca do Conhecimento**. Bibl. Ci. Inf., Campinas, Sp, v. 10, n. 1, p.53-66, jun. 2012.

PRODANOV C. C.; FREITAS E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul - Brasil 2013. Disponível em: <<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>> Acesso em: 08 Out. 2019

PRZYBYSZ, André Luiz; LUIZ JÚNIOR, Olavo José. **Infra-estrutura e Roteamento em Redes Wireless Mesh**, Paraná – Curitiba 2006.

R3- Automação Industrial. **Função do Relógio Medidor de Energia**, 2019. Disponível em: <<https://www.automacaor3.com.br/qual-a-funcao-do-relogio-medidor-de-energia>> Acesso em: 18 Dez. 2019

REGO, Antonio Carlos Bordeaux; LOURAL, Cláudio de Almeida; GIANANTE, Moacir. **Relatório de Acompanhamento Setorial Smart Grid: tendências no mundo e no Brasil e possibilidades de desenvolvimento produtivo e tecnológico**. São Paulo: Maria Luisa Campos Machado Leal, 2012. 31 p.

Relatório. **Smart Grid**. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes Ministério de Minas e Energia, 2010. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/3047161-Relatorio-smart-grid-grupo-de-trabalho-de-redes-eletricas-inteligentes-ministerio-de-minas-e-energia.html> > Acesso em: 19 Nov. 2019

RIVEIRA R.; ESPOSITO A. S.; TEIXEIRA I. **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: 26 Set. 2019

SANTOS, José Jonathas de Farias. **Medidor Inteligente no Brasil**. 2017. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade Anhanguera, Guarulhos, 2017.

SCIAMANA, M. **Medição inteligente**, 2011. Disponível em:
<<https://www.osetoreletrico.com.br/medicao-inteligente/>> Acesso em: 18 Dez. 2019

SÍRIO, Arif Martins. **Comunicação de uma Rede Mesh, Utilizando o Padrão Zigbee**, 2018. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Automação Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Unidade Araxá, Araxá - Mg, 2018

UFRJ, gta. **Topologias de Redes ZigBee**. Disponível em:
<https://www.gta.ufrj.br/grad/07_1/zigbee/topologias.html> Acesso em: 25 Dez. 2019