

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CAMPUS ITAJAÍ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CAROLINA GIUSTI TISOTT**

**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA A RESPEITO DO  
USO DA TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO 5G NA  
INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE  
RESPOSTA À DEMANDA E DE INFRAESTRUTURA DE MEDIÇÃO  
AVANÇADA EM SMART GRIDS**

**ITAJAÍ, 2021.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CAMPUS ITAJAÍ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CAROLINA GIUSTI TISOTT**

**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA A RESPEITO DO  
USO DA TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO 5G NA  
INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE  
RESPOSTA À DEMANDA E DE INFRAESTRUTURA DE MEDIÇÃO  
AVANÇADA EM SMART GRIDS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador:  
Prof. Dr. Roddy Alexander Romero Antayhua

**ITAJAÍ, 2021.**

Tisott, Carolina Giusti

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA A RESPEITO DO USO DA  
TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO 5G NA INFRAESTRUTURA DE  
COMUNICAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE RESPOSTA À DEMANDA E DE  
INFRAESTRUTURA DE MEDIÇÃO AVANÇADA EM SMART GRIDS /

Carolina Giusti Tisott; orientação de Roddy Alexander Romero Antayhua. - Itajaí, SC,  
2021.

85 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Campus  
Itajaí. Bacharelado em Engenharia Elétrica.

Inclui referências

1. Revisão Sistemática da Literatura. 2. 5G. 3. Resposta à Demanda. 4. Infraestrutura  
de Medição Avançada. 5. Smart Grid. I. Alexander Romero Antayhua, Roddy. II.  
Instituto Federal de Santa Catarina. III. UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA  
LITERATURA A RESPEITO DO USO DA TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO 5G  
NA INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE  
RESPOSTA À DEMANDA E DE INFRAESTRUTURA DE MEDIÇÃO  
AVANÇADA EM SMART GRIDS

# UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA A RESPEITO DO USO DA TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO 5G NA INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE RESPOSTA À DEMANDA E DE INFRAESTRUTURA DE MEDIÇÃO AVANÇADA EM SMART GRIDS

**CAROLINA GIUSTI TISOTT**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Itajaí, 15 de setembro, 2021.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente  
roddy.romero\;RODDY ALEXANDER ROMERO AN  
Data: 16/09/2021 21:27:58-0300  
CPF: 847.069.960-15

---

Roddy Alexander Romero Antayhua, Dr.  
Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Itajaí



Documento assinado digitalmente  
Tarcísio Pollnow Kruger  
Data: 07/10/2021 11:13:21-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Yona Lopes, D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense



Documento assinado digitalmente  
Yona Lopes  
Data: 06/10/2021 19:52:18-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Tarcísio Pollnow Kruger, Me.  
Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Itajaí

*“...Todo o investigador investiga porque está perdido e será sensato não ter a ilusão de que deixará de o estar. Deve, sim, no final de sua investigação, estar mais forte. Continua perdido, mas está perdido com mais armas, com mais argumentos. Como alguém que continua náufrago, mas que tem agora, contra as intempéries e os perigos, um refúgio mais eficaz.”*

*(Gonçalo M. Tavares)*

## RESUMO

A demanda de energia elétrica cresce a cada dia, porém além da demanda há a necessidade do aumento na variedade e qualidade dos serviços provenientes do setor de energia elétrica. Uma solução para fazer essas melhorias é transformar as redes de energia elétrica convencionais em *smart grids*. Dentro da gama de aplicações da *smart grid* estão a infraestrutura de medição avançada e a resposta à demanda. A infraestrutura de medição avançada é geralmente a primeira aplicação a ser desenvolvida pelas concessionárias de energia, isso se deve ao fato que a aplicação fornece um fluxo bidirecional de informações entre consumidores e concessionária. Para fornecer esse fluxo bidirecional a infraestrutura de medição avançada é composta por componentes que podem ser desde sensores, sistemas de monitoramento, medidores inteligentes, até mesmo softwares, sistemas de gerenciamento de dados e redes de comunicação. Já a aplicação da resposta à demanda usa do fluxo bidirecional que a infraestrutura de medição avançada fornece para trocar informações em tempo real entre os consumidores e concessionária, essa troca de informações tem como objetivo diminuir o consumo de energia elétrica em horários de pico, diminuindo assim a demanda total do sistema. Porém para que seja possível a implementação das aplicações é necessária uma infraestrutura de comunicação e a escolha de tecnologias de comunicação que consigam fornecer os requisitos que as aplicações exigem. Recentemente, no ano de 2018, a tecnologia de comunicação 5G começou a ser comercializada no mundo, e ela surgiu com a proposta de revolucionar vários setores da indústria, inclusive o setor de energia, pois ela promete oferecer requisitos que as demais tecnologias não conseguem fornecer. Diante dessas informações que o objetivo desta revisão sistemática da literatura (RSL) foi desenvolvido. Essa RSL identificou estudos que a academia está produzindo sobre as aplicações de resposta à demanda e a infraestrutura de medição avançada no contexto das *smart grids*, utilizando o 5G como escolha de tecnologia de comunicação. A partir dos estudos foi identificado quais desafios que as aplicações de resposta à demanda e a infraestrutura de medição avançada impõem nas *smart grids* no ponto de vista de infraestrutura de comunicação e se esses desafios podem ser solucionados com o uso da tecnologia de comunicação 5G.

**Palavras-chave:** Revisão Sistemática da Literatura; 5G; Resposta à Demanda; Infraestrutura de Medição Avançada; *Smart Grid*.

## ABSTRACT

The demand for electricity grows every day, but in addition to the demand there is a need to increase the variety, and quality of services from the electricity sector. One solution to making these improvements is to transform conventional electricity grids into smart grids. Within the range of smart grid applications are advanced metering infrastructure and demand response. Advanced metering infrastructure is usually the first application to be developed by utilities, this is since that the application provides a bidirectional flow of information between consumers and utility. To provide this bidirectional flow, the advanced metering infrastructure is composed of physical and virtual components that can range from sensors, monitoring systems, smart meters, even software, data management systems and communication networks. The demand response application, on the other hand, uses the bidirectional flow that the advanced metering infrastructure provides to exchange information in real-time between consumers and the utility, this exchange of information aims to reduce electricity consumption at peak times, thus reducing the total system demand. However, for the implementation of applications to be possible, a communication infrastructure and the choice of communication technologies that are able to provide the requirements that the applications demand is necessary. Recently, in 2018, 5G began to be commercialized in the world, and it came up with the proposal to revolutionize several sectors of the industry, including the energy sector, as it promises to offer requirements that other technologies cannot provide. In view of this information, the objective of this systematic literature review (RSL) was developed. This RSL identified studies that the academy is producing on demand response applications and advanced metering infrastructure in the context of smart grids, using 5G as a communication technology choice. From the studies, it was identified which challenges demand response applications and advanced metering infrastructure impose on smart grids from the point of view of communication infrastructure and whether these challenges can be solved using 5G communication technology.

**Key-words:** Systematic Literature Review; 5G; Demand Response; Advanced Metering Infrastructure; Smart Grid.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de uma rede elétrica convencional .....	21
Figura 2 - Dados da ANEEL das medidas de DEC e FEC dos anos 2011 a 2020....	22
Figura 3 - Estrutura de uma smart grid com algumas aplicações.....	24
Figura 4 - Estrutura de operação centralizada de uma AMI .....	26
Figura 5 - Aplicação AMI com as arquiteturas de rede.....	31
Figura 6 - Linha do tempo das gerações celular, do 1G ao 5G .....	34
Figura 7 - Exemplo de estações base para redes 4G e 5G .....	37
Figura 8 - Densidades de células entre estações base para redes 4G e 5G .....	37
Figura 9 - Três cenários de aplicações do 5G.....	39
Figura 10 - Quatro modelos de operação do 5G .....	40
Figura 11 - Subfaixas de frequência destinadas ao 5G.....	43
Figura 12 - Informações que deve conter no protocolo da RSL dentro da fase do planejamento.....	47
Figura 13 - Aplicações, desafios e estudos .....	72
Figura 14 - Resumo dos principais desafios que o 5G poderá solucionar .....	73

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Porcentagem de artigos por fonte de busca .....	55
Gráfico 2 - Porcentagem de artigos rejeitados por critério de exclusão .....	56
Gráfico 3 - Quantidade de artigos aceitos por ano de publicação .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de frequência até o 3,5GHz destinadas ao 5G .....	42
Tabela 2 - Futuras faixas de frequência destinadas ao 5G .....	43
Tabela 3 - Pontuação de qualidade listado por ano de publicação .....	58
Tabela 4 - Pontuação de qualidade listado por maior nota de qualidade .....	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferentes tipos de Revisão da Literatura .....	44
Quadro 2 - Informações do PICOC .....	51
Quadro 3 - Questões de pesquisa e seus códigos de identificação .....	52
Quadro 4 - Palavras chaves e sinônimos .....	52
Quadro 5 - Configuração da <i>string</i> em cada fonte de busca .....	53
Quadro 6 - Critérios de inclusão e exclusão.....	53
Quadro 7 - Perguntas de qualidade e seus códigos de identificação .....	54
Quadro 8 - Artigos aceitos na RSL e seus códigos de identificação .....	57
Quadro 9 - Tipos de estudos dos artigos aceitos .....	57
Quadro 10 - Local de publicação dos artigos aceitos.....	60
Quadro 11 - Informações gerais dos artigos aceitos .....	60

## LISTA DE SIGLAS

1G	Primeira Geração
2G	Segunda Geração
3G	Terceira Geração
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
4G	Quarta Geração
5G	Quinta Geração
ACM DL	<i>Association for Computing Machinery Digital Library</i>
AMI	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
Anatel	Agencia Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
BAN	<i>Business Area Network</i>
BS	<i>Base Station</i>
CIGRE	Comitê Internacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica
CIS	<i>Customer Information System</i>
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DMS	<i>Distribution Management System</i>
EBC	Empresa Brasil de Comunicação
eMBB	<i>Enhanced Mobile Broadband</i>
FAN	<i>Field Area Network</i>
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
GIS	<i>Geographical Information System</i>
GSMA	Global System for Mobile Communications Association
HAN	<i>Home Area Network</i>
IAN	<i>Industrial Area Network</i>
IDS	<i>Intrusion Detection System</i>
IEA	International Energy Agency
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
LDPC	Low-Density Parity-Check
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MDMS	<i>Meter Data Management System</i>
MIMO	<i>Massive Multiple-Input Multiple-Output</i>

mMTC	<i>Massive Machine Type Communications</i>
mmWave	<i>Millimeter Wave</i>
NAN	<i>Neighborhood Area Network</i>
NFV	<i>Network Functions Virtualization</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiple Access</i>
OMS	<i>Outage Management System</i>
PICOC	<i>Population, Intervention, Comparison, Outcome e Context</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PMU	<i>Phasor Measurement Unit</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RIL	Revisão Integrativa da Literatura
RL	Revisão da Literatura
RNL	Revisão Narrativa da Literatura
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SC-FDMA	<i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access</i>
SCM	Serviço de Comunicação Multimídia
SDN	<i>Software Defined Network</i>
SLP	Serviço Limitado Privado
SMP	Serviço Móvel Pessoal
UFF	Universidade Federal Fluminense
UIT	União Internacional de Telecomunicações
uRLLC	<i>Ultra-reliable and Low-latency Communications</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
VPP	<i>Virtual Power Plant</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	Justificativa .....	17
1.2	Definição do problema .....	19
1.3	Objetivo geral .....	19
1.4	Objetivos específicos .....	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	Rede de energia elétrica convencional .....	21
2.2	O que é uma <i>smart grid</i> ? .....	23
2.3	Infraestrutura de medição avançada (AMI) e resposta à demanda .....	24
2.4	Requisitos quantitativos e qualitativos de qualidade de serviço (QoS) .....	27
2.4.1	Latência .....	27
2.4.2	Largura de banda .....	28
2.4.3	Taxas de dados .....	28
2.4.4	Taxa de transferência de dados .....	28
2.4.5	Confiabilidade .....	29
2.4.6	Precisão de dados .....	29
2.4.7	Validade de dados .....	29
2.4.8	Acessibilidade .....	29
2.4.9	Interoperabilidade .....	30
2.4.10	Segurança .....	30
2.5	Infraestrutura de comunicação e tipos de tecnologia de comunicação .....	30
2.5.1	Rede local (HAN) .....	31
2.5.2	Rede de vizinhança (NAN) .....	32
2.5.3	Rede de longa distância (WAN) .....	33
2.6	Tecnologia de comunicação 5G .....	33
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
3.1	Revisão Sistemática da Literatura pelo método de Kitchenham .....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>51</b>
4.1	Fase do planejamento da RSL .....	51
4.2	Fase da condução da RSL .....	55
4.2.1	Resultado da questão de pesquisa QP01 .....	61
4.2.1.1	Discussão e análise QP01 .....	61

4.2.2	Resultado da questão de pesquisa QP02 .....	62
4.2.2.1	Discussão e análise QP02.....	62
4.2.3	Resultado da questão de pesquisa QP03 .....	62
4.2.3.1	Discussão e análise QP03.....	66
4.2.4	Resultado da questão de pesquisa QP04 .....	68
4.2.4.1	Discussão e análise QP04.....	69
4.2.5	Discussão e análise geral das questões de pesquisa .....	70
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>77</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho é a respeito da comunicação celular 5G como escolha de tecnologia de comunicação para as aplicações de infraestrutura de medição avançada (AMI - do inglês *Advanced Metering Infrastructure*) e a resposta à demanda (do inglês *demand response*) em *smart grids*. Como aluna do curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Itajaí, tenho o interesse em desenvolver com este trabalho, um material bibliográfico e científico atual, tornando-o disponível aos interessados no tema, especialmente no universo acadêmico.

Existem várias definições e conceitos a respeito do termo *smart grid*. A *National Institute of Standards and Technology* - NIST (2019)<sup>1</sup> define que a *smart grid* terá fluxos bidirecionais de energia, comunicação e controle, que esse fluxo possibilita uma série de funcionalidades e aplicações dentro do setor elétrico.

Já o site Oficial da União Europeia (2021)<sup>2</sup> define as *smart grids* como redes de energia elétrica que podem monitorar automaticamente os fluxos de energia e se ajustar às mudanças no fornecimento conforme a demanda e quando combinadas com sistemas de medição inteligente, devido ao fluxo bidirecional, as *smart grids* alcançam consumidores e fornecedores, e a troca de informações sobre o consumo pode ser aplicada em tempo real.

A tendência é que as redes convencionais de energia acabem se adequando aos sistemas *smart grid*. Um exemplo são os Países da União Europeia, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA - do inglês *International Energy Agency*), a IEA (2020)<sup>3</sup> esse grupo de países está investindo bilhões de euros por ano para transformar suas redes de energia convencionais em redes de energia inteligentes (*smart grids*), entre os anos de 2014 a 2019 foram investidos mais de 240 bilhões de dólares por ano.

Dentro do universo das aplicações da *smart grid*, está a infraestrutura de medição avançada. Segundo Kabalci (2019), a infraestrutura de medição avançada consiste em componentes que são responsáveis por coletar, analisar e armazenar dados de medição provenientes de seus usuários finais para as concessionárias

---

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.nist.gov/el/smart-grid/about-smart-grid/smart-grid-beginners-guide>. Acesso em: 31 de maio de 2021.

<sup>2</sup> Disponível em: [https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en). Acesso em: 31 de maio de 2021.

<sup>3</sup> Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/investment-in-smart-grids-by-technology-area-2014-2019>. Acesso em: 31 de maio de 2021.

de energia que são responsáveis pelo faturamento, gerenciamento de rede e previsão da demanda de energia elétrica.

Segundo Alam et al. (2017) na AMI são utilizados vários tipos de tecnologia de comunicação que podem ser usadas em áreas de coberturas distintas e meios de propagação distintos, podendo ser via cabo ou sem fio. As áreas de cobertura podem ser classificadas devido ao alcance de propagação. Para área de cobertura de curtas distâncias, ou rede local (HAN - do inglês *Home Area Network*), seu alcance é de 1 a 100 metros, e geralmente o ZigBee, Wi-Fi, PLC (do inglês *Power Line Communication*) ou Bluetooth são utilizados como tecnologias de comunicação. Para áreas de cobertura de média distâncias, ou rede de vizinhança (NAN - do inglês *Neighborhood Area Network*), seu alcance é de 100 a 10.000 metros, e as tecnologias de comunicação geralmente usadas são ZigBee, Wi-Fi, PLC, 3G, 4G ou WiMAX. Nas áreas de cobertura de longas distâncias (WAN - do inglês *Wide Area Network*), seu alcance é de 10.000 a 100.000 metros, e as tecnologias de comunicação geralmente usadas são a fibra óptica, 4G, WiMAX ou satélite (ALAM et al., 2017).

Dentre as opções de tipos de tecnologia de comunicação sem fio está a tecnologia 5G que é a quinta geração da tecnologia celular. Essa geração da tecnologia celular começou a ser comercializada no final do ano de 2018 e está sendo implementada mundialmente, e segundo Hui et al. (2019) ela se destaca pois possui a proposta de atingir altas taxas de transferência de dados, baixa latência de comunicação, uma alta segurança e possibilitará a conexão de um grande número de dispositivos inteligentes. Essas características irão fazer com que seja possível remodelar a sociedade e os meios produtivos, como dito pelo presidente da Anatel, Leonardo Euler de Moraes, em reportagem da Agência Brasil escrita por Oliveira (2021)<sup>4</sup>, órgão ligado à Empresa Brasil de Comunicação - EBC, entidade vinculada ao Ministério das Comunicações do Brasil.

A tecnologia 5G irá ajudar a desenvolver diversos setores, incluindo o setor energético, pois segundo Ordonez-lucena et al. (2017) essa tecnologia promete fornecer os requisitos de latência, escalabilidade, disponibilidade e confiabilidade, que as demais tecnologias de comunicação com suas arquiteturas de rede não são

---

<sup>4</sup> Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-04/leilao-do-5g-entenda-o-que-vem-por-ai-e-conheca-novidades>. Acesso em: 31 de maio de 2021.

capazes de oferecer. Devido ao potencial que o 5G possui para o desenvolvimento de setores que o objetivo deste trabalho foi desenvolvido.

O método utilizado para realizar a RSL foi com base no artigo de Kitchenham et al. (2009) o qual usa o método de Kitchenham (2004). Esse trabalho teve como objetivo desenvolver uma revisão sistemática da literatura (RSL), a fim de identificar o que a academia está produzindo sobre as aplicações de resposta à demanda e a infraestrutura de medição avançada das *smart grids*, para então identificar os requisitos da infraestrutura de comunicação, e se esses requisitos são compatíveis com a tecnologia de comunicação 5G.

No final do trabalho será possível identificar os desafios que a AMI impõe nas *smart grids* do ponto de vista da infraestrutura de comunicação, identificar os desafios que a resposta à demanda impõe nas *smart grids* do ponto de vista da infraestrutura de comunicação, identificar os desafios que a tecnologia de comunicação 5G pode solucionar especificamente na AMI e identificar os desafios que a tecnologia de comunicação 5G pode solucionar especificamente na resposta à demanda. Ainda há uma breve comparação com as revisões encontradas no decorrer da RSL e sugestões de trabalhos futuros.

## 1.1 Justificativa

Os dois grandes temas escolhidos para este trabalho, *smart grid* e 5G, são temas atuais, inovadores e que possuem relevância política, econômica e social em um âmbito mundial.

Conforme Ordonez-Lucena et al. (2017) o 5G fornecerá uma nova arquitetura de rede de comunicação que conseguirá fornecer bons requisitos de latência, escalabilidade, disponibilidade e confiabilidade, requisitos que as demais tecnologias de comunicação com suas arquiteturas de rede não são capazes de oferecer. Essa revolução na comunicação conseguirá ajudar a desenvolver vários setores, e dentre eles está o setor de energia.

A relação dos dois temas é tão relevante que no ano de 2021 iniciou-se um projeto da União Europeia, coordenado por Daniele Porcu (2021)<sup>5</sup>, que possui o nome *Smart5Grid*. Esse projeto diz respeito à aplicação da comunicação da 5G na *smart*

---

<sup>5</sup> Disponível em: <https://smart5grid.eu/in-brief/>. Acesso em: 31 de maio de 2021.

*grid* e tem como objetivo revolucionar a indústria de energia através do estabelecimento bem-sucedido de quatro funções fundamentais de *smart grids* modernas. A primeira função é a detecção automática de falhas na rede de distribuição de energia. A segunda é a inspeção remota de áreas de trabalho delimitadas automaticamente no nível de distribuição. A terceira é o controle de geração de distribuição precisa em nível de milissegundo. E a última é referente ao monitoramento em tempo real de amplas áreas com o objetivo de auxiliar operadores da rede elétrica nas manutenções e prestações de serviços.

O foco do projeto é na indústria de energia pois eles mencionam que até agora, a principal discussão para 5G tem sido apoiar a próxima onda de recursos de *smart grid* que visam melhorar a eficiência no nível do medidor, a integração de muitos dispositivos de baixa tensão à rede elétrica por meio de conexões de baixo custo, aplicações que envolvem o gerenciamento da demanda para fazer redução dos picos de energia elétrica.

O fato do projeto informar que há projetos voltados para essas áreas, mostra que o uso do 5G está sendo pesquisado para ser usado como tecnologia de comunicação das demais aplicações da *smart grid*. Dentre a gama de aplicações da *smart grid*, a AMI e a resposta à demanda foram escolhidas.

Outro fator que torna esse trabalho relevante é o fato da comunicação 5G estar prestes a ser implementada no Brasil, isso trará mudanças sociais e oportunidades de negócios para os próximos anos.

Durante o desenvolvimento desta RSL a acadêmica não encontrou nenhuma revisão sistemática da literatura que tenha o mesmo foco que o trabalho propõe, sendo o desenvolvimento de uma revisão sistemática da literatura para identificar o que a academia está produzindo sobre as aplicações de resposta à demanda e a infraestrutura de medição avançada das *smart grids*, para então identificar os requisitos da infraestrutura de comunicação, e se esses requisitos são compatíveis com a tecnologia de comunicação 5G.

Foram encontradas duas revisões que dizem respeito a aplicação da resposta à demanda com o 5G como escolha de tecnologia de comunicação, porém essas revisões, que foram desenvolvidas por Ahmadzadeh, Parr E Zhao (2021) e Hui et al. (2020), não são sistemáticas e não há a informação se as mesmas seguiram um protocolo para serem desenvolvidas, além disso não possuem objetivos específicos como a RSL desenvolvida neste trabalho, essas revisões são mais um compilado de

informações que a maior parte das vezes menciona apenas informações da resposta à demanda ou só informações do 5G. Na parte da discussão e análise final das questões de pesquisa da RSL desenvolvida neste trabalho, haverá uma comparação com as informações obtidas no desenvolvimento desta RSL com as revisões desenvolvidas por Ahmadzadeh, Parr E Zhao (2021) e Hui et al. (2020).

A RSL desenvolvida neste trabalho contém uma análise onde são identificados os desafios das aplicações de resposta a demanda e AMI das *smart grids* e se esses desafios serão solucionados se escolhida a tecnologia 5G como tecnologia de comunicação usada em suas infraestruturas de comunicação.

Além disso, esse trabalho é um compilado de material bibliográfico, científico e atual, a respeito do 5G como escolha de tecnologia de comunicação para a aplicação de resposta à demanda e a AMI das *smart grids*, ele ficará disponível aos interessados do universo acadêmico e dos setores públicos e privados.

## 1.2 Definição do problema

Há diversas tecnologias de comunicação que podem ser usadas nas aplicações das *smart grids*. A escolha da tecnologia correta permite que as aplicações de infraestrutura de medição avançada e a resposta à demanda sejam colocadas em prática, para isso a tecnologia precisa garantir fornecer os requisitos de qualidade necessários. Com a tecnologia 5G sendo desenvolvida e diante do grande potencial que ela oferece de alavancar os setores da indústria, incluindo o setor energético, a definição do problema foi desenvolvida.

A tecnologia de comunicação 5G conseguirá fornecer os requisitos necessários, do ponto de vista de infraestrutura de comunicação, para as aplicações de infraestrutura de medição avançada e resposta à demanda das *smart grids*?

## 1.3 Objetivo geral

Desenvolver uma revisão sistemática da literatura (RSL) a respeito do que a academia está produzindo sobre as aplicações de resposta à demanda e a infraestrutura de medição avançada em *smart grids*, para então identificar os requisitos da infraestrutura de comunicação, e se esses requisitos são compatíveis com a tecnologia de comunicação 5G.

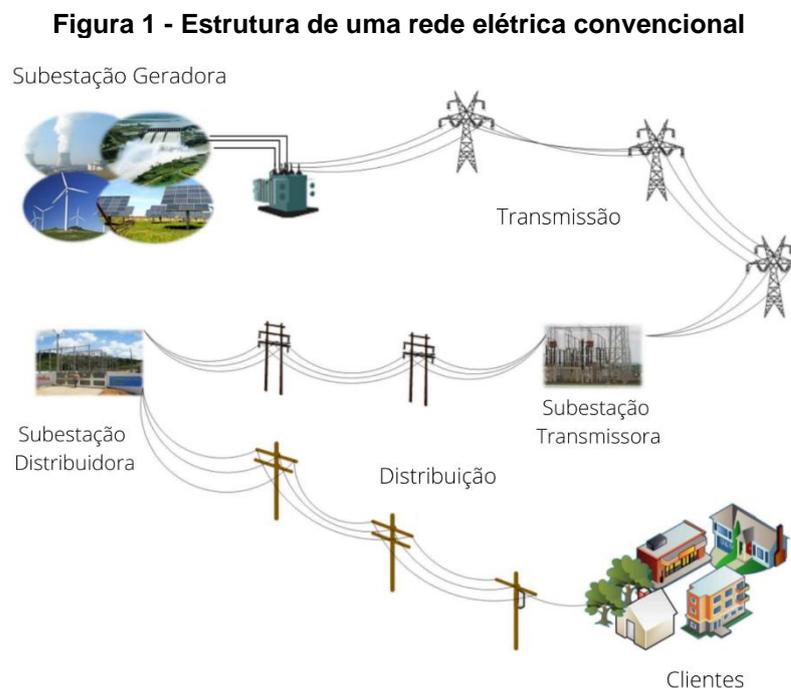
#### 1.4 Objetivos específicos

- a) Identificar os desafios que a AMI impõe nas *smart grids* do ponto de vista da infraestrutura de comunicação;
- b) Identificar os desafios que a Resposta à Demanda impõe nas *smart grids* do ponto de vista da infraestrutura de comunicação;
- c) Identificar os desafios que a tecnologia de comunicação 5G pode solucionar especificamente na AMI;
- d) Identificar os desafios que a tecnologia de comunicação 5G pode solucionar especificamente na Resposta à Demanda.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Rede de energia elétrica convencional

A rede elétrica convencional é formada por uma composição de elementos, dentre os mais importantes estão as gerações, subestações, linhas de transmissão, linhas de distribuição, entre outros elementos (LOPES et al., 2016). A Figura 1 mostra como ela é estruturada.



Fonte: Lopes et al (2012) com adaptações da autora.

A demanda de energia aumenta cada vez mais com o passar dos anos, e além desse aumento, há a necessidade do aumento na variedade e qualidade dos serviços provenientes do setor de energia elétrica (LOPES et al., 2012).

Devido a necessidade do aumento da qualidade do serviço, a ANEEL (2021) possui duas medidas para avaliar o serviço que ela fornece aos seus consumidores. A primeira é a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC), essa medida indica o número médio de horas que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, que pode ser anual ou mensal. A segunda é a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade

Consumidora (FEC), esta mostra a frequência média de interrupções nos consumidores.

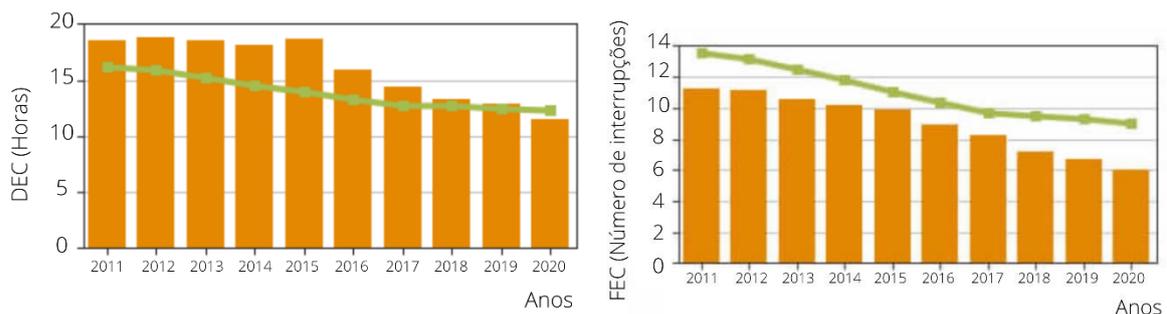
A Figura 2 mostra os dados dessas medidas entre os anos de 2011 e 2020. Todo valor limite é especificado pela ANEEL (2021) e caso o valor apurado passe desse limite as empresas responsáveis das regiões sofrem punições. Os valores limite são representados pela curva em cor verde e os valores apurados de DEC e FEC são representados pelas barras em cor laranja.

**Figura 2 - Dados da ANEEL das medidas de DEC e FEC dos anos 2011 a 2020**

BRASIL - ANUAL - CONCESSIONÁRIAS

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DEC APURADO (horas)	18,61	18,78	18,49	18,14	18,73	15,90	14,48	13,31	12,85	11,55
DEC LIMITE (horas)	16,23	15,87	15,19	14,61	13,95	13,33	12,79	12,75	12,53	12,29
FEC APURADO	11,21	11,17	10,60	10,14	9,93	8,93	8,27	7,17	6,68	6,06
FEC LIMITE	13,61	13,19	12,47	11,79	11,05	10,34	9,73	9,54	9,27	8,99
Nº DE CONSUMIDORES	69.035.906	71.143.243	73.280.998	74.852.272	76.682.080	78.346.829	80.100.201	81.595.678	82.943.318	84.546.110

Os indicadores são passíveis de alterações após fiscalização da ANEEL.



Fonte: ANEEL(2021).

Observa-se uma diminuição ao longo desses 10 anos, tanto nas quantidades de horas quanto na quantidade de interrupções, porém os valores ainda estão próximos aos limites estipulados na ANEEL. No ano passado, 2020, teve uma média de 6 interrupções anuais e cerca de 11 horas sem o fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais, isso acarreta em insatisfação dos clientes e prejuízos financeiros. Uma solução para diminuir esses tipos de problemas é desenvolver uma *smart grid* (LOPES et al., 2012).

## 2.2 O que é uma *smart grid*?

Como já mencionado na introdução a *smart grid* é uma rede elétrica a qual possui fluxos bidirecionais de energia, comunicação e controle, porém é preciso identificar quais são objetivos dessa mudança na rede elétrica.

Segundo Alam et al. (2017), os objetivos primários das redes inteligentes vão além de ter uma geração e distribuição de energia elétrica eficiente pois os fluxos bidirecionais de informações também servem para otimizar o consumo de energia dos clientes, e quando usados com fontes limpas de geração de energia contribuem para a redução de emissão de CO<sub>2</sub>.

As *smart grids* foram desenvolvidas para atingir vários objetivos, dentre eles estão: melhorar a eficiência e economia na conversão de energia, aperfeiçoar a segurança e a operação do sistema, aumentar a capacidade de controle da rede elétrica, melhorar a confiabilidade e a disponibilidade do fornecimento de energia para os clientes, habilitar e promover a integração e utilização de energias renováveis e sustentáveis, além de manter e melhorar a qualidade do fornecimento de (TORSTEN E KRZYSZTOF, 2015).

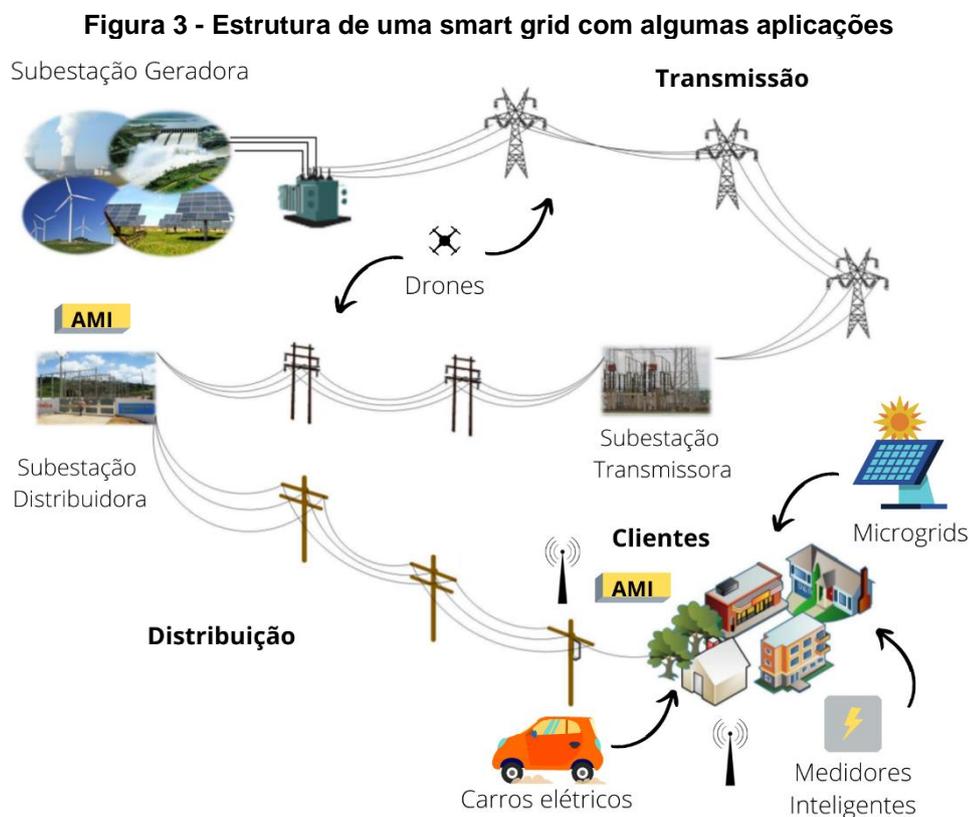
Para atingir esses objetivos há uma gama extensa de aplicações. Conforme mencionado pela professora Dra. Yona Lopes no tempo 16min:03s do seminário online que possui o título “Comunicação para *Smart Grids*: Oportunidades e Desafios”, que aconteceu em julho de 2020 e está disponível no canal do *youtube* do Instituto de Computação da UFF (2020)<sup>6</sup>, a qual organizou o seminário, alguns exemplos de aplicações e suas nomenclaturas são:

- Infraestrutura de medição avançada e medição inteligente.
- Resposta à demanda e gestão pelo lado da demanda.
- Gerenciamento de ativos.
- *Microgrids*.
- Automação de subestações.
- Plantas de energia virtuais (VPP - do inglês *Virtual Power Plant*).
- Sistema de armazenamento de energia.
- Veículos elétricos.
- Automação da distribuição.

---

<sup>6</sup> Disponível em: [https://youtu.be/sYiE-UBi\\_i8](https://youtu.be/sYiE-UBi_i8). Acesso em: 06 de julho de 2021. [WEBINAR].

Nota-se que há uma gama extensa de aplicações, porém o foco deste trabalho será nas aplicações de infraestrutura de medição avançada e resposta à demanda. A escolha da aplicação AMI foi pelo fato de as concessionárias geralmente iniciarem a implantação da *smart grid* por ela pois necessitam das informações, do monitoramento e da comunicação bidirecional entre consumidores e concessionária (LOPES et al., 2016). E a escolha da aplicação da resposta à demanda foi pelo fato da aplicação utilizar da AMI para fazer o fluxo bidirecional de informações em tempo real entre clientes e concessionária (FAHEEM et al., 2018). A Figura 3 é uma representação da *smart grid* com algumas aplicações.



Fonte: Lopes et al (2012) com adaptações da autora.

### 2.3 Infraestrutura de medição avançada (AMI) e resposta à demanda

Segundo Kabalci (2019), a infraestrutura de medição avançada consiste em componentes que podem ser desde sensores, sistemas de monitoramento, medidores inteligentes, até mesmo softwares, sistemas de gerenciamento de dados e redes de comunicação, esses componentes são responsáveis por coletar, analisar e armazenar dados de medição provenientes de seus usuários finais para as empresas

de serviços públicos que são responsáveis pelo faturamento, gerenciamento de rede e previsão.

Porém, de acordo com Budka et al. (2010, apud Lopes et al., 2016), a AMI vai além da medição de energia periódica, pois ela gera dados para serem usados na resposta à demanda, é possível detectar falhas na rede de distribuição, detectar furtos de energia e fazer remotamente o corte ou religamento da energia.

Faheem et al. (2018) mencionam que o principal habilitador da aplicação resposta à demanda, também conhecida como gerenciamento pelo lado da demanda, é a AMI em tempo real. Lopes et al (2016) apontam que a resposta à demanda utiliza os dados provenientes de uma AMI em tempo real para tomar ações com relação a geração de energia elétrica.

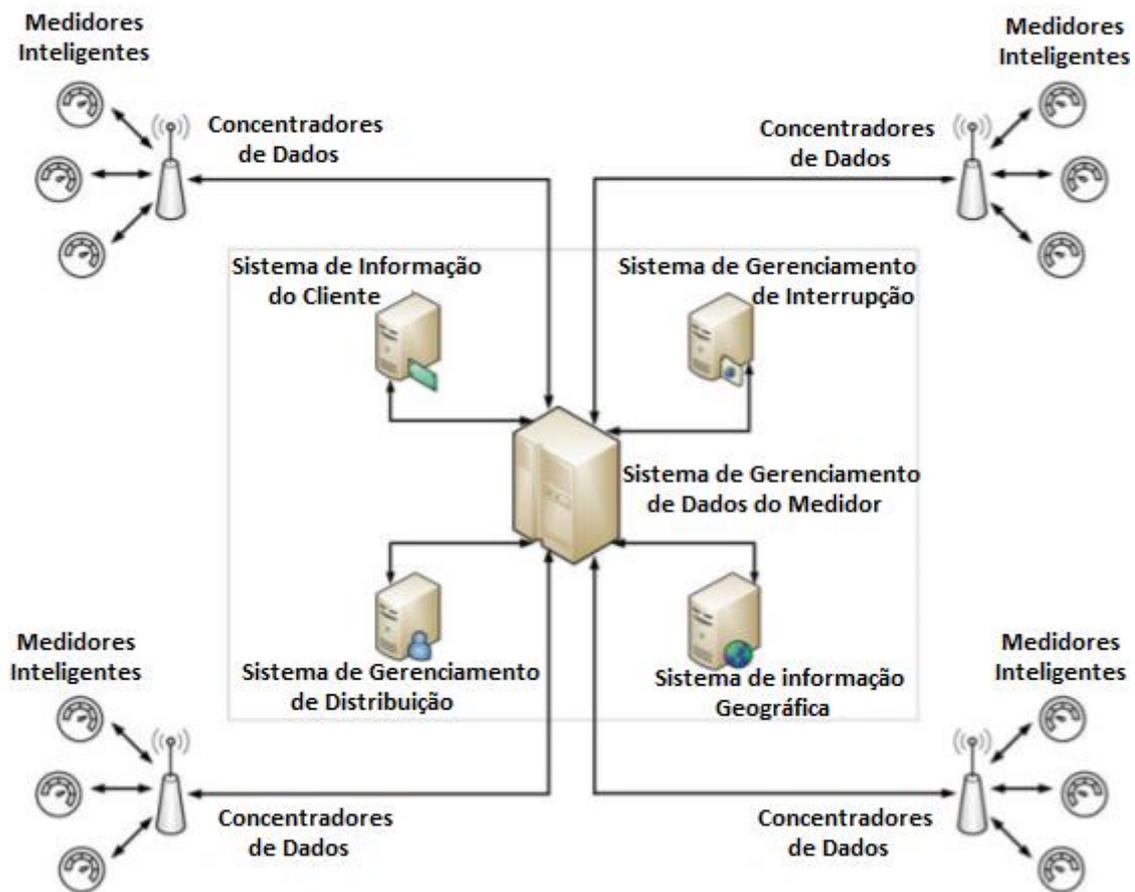
A resposta à demanda pode ser explicada como diversas ações, que pode ser iniciadas pelos consumidores, concessionária de energia, ou por ambos, as quais utilizam dos dados gerados pelo fluxo bidirecional para gerar soluções que reduzam o nível do consumo de energia dos clientes, para então diminuir a demanda total do sistema. Os principais momentos em que essas ações são colocadas em prática são os horários de pico, onde a concessionária está próxima do limite da geração e tenta arranjar alternativas para suprir a demanda (TORSTEN E KRZYSZTOF, 2015).

Usando uma infraestrutura de medição avançada e a resposta à demanda os consumidores de eletricidade em um distrito residencial podem ser imediatamente informados pelas concessionárias de energia sobre as informações de carga do consumidor, detalhes de faturamento, detecção de interrupção, qualidade de energia, o momento dos horários de pico de carga e benefícios econômicos, com essas informações os clientes podem tirar proveito da precificação dinâmica devido à variação do preço da energia em diferentes momentos do dia (FAHEEM et al., 2018).

Conforme Li e Yang (2013, apud Kabalci, 2019) todos os sistemas de gerenciamento de distribuição de energia elétrica requerem uma infraestrutura para controle e monitoramento dos parâmetros do sistema, a AMI é uma infraestrutura que fornece uma transmissão de dados bidirecional e ainda é capaz de conectar muitos de sensores e dispositivos de medição inteligentes enquanto há uma comunicação em alta velocidade.

A estrutura de operação da AMI segundo Zhou et al. (2012, apud Kabalci et al., 2019) é configurada conforme a Figura 4.

Figura 4 - Estrutura de operação centralizada de uma AMI



Fonte: Kabalci et al (2019) com adaptações da autora.

A estrutura, conforme Zhou et al. (2012, apud Kabalci et al., 2019), é composta por medidores inteligentes, concentradores de dados, e um centro de monitoramento ou sistema de gerenciamento de dados do medidor (MDMS - do inglês *Meter Data Management System*), o MDMS já possui um sistema de informações do cliente (CIS - do inglês *Customer Information System*), um sistema de gerenciamento de interrupções (OMS - do inglês *Outage Management System*), um sistema de informações geográficas (GIS - do inglês *Geographical Information System*) e um sistema de gerenciamento de distribuição (DMS - *Distribution Management System*). Para fazer a conexão dos dados provenientes dos medidores inteligentes até os centros de gerenciamento, é necessário que os dados sejam enviados à concentradores de dados para então chegar ao centro de monitoramento ou MDMS (ZHOU et al., 2012, apud KABALCI et al., 2019).

Basicamente o fluxo dos dados da AMI iniciam-se nos clientes. As informações provenientes de medidores inteligentes dos clientes são coletadas e armazenadas nos concentradores de dados, para então serem enviadas às

concessionárias de energia. Chegando nas concessionárias, elas usam diferentes tipos de sistemas e ferramentas de estimativa, edição e validação, para analisar esses dados coletados e então otimizar as operações, os custos de eletricidade e o atendimento ao usuário final (ZHOU et al., 2012, apud KABALCI et al., 2019).

Porém para que seja possível implementar a AMI, a resposta à demanda, e a *smart grid* como um todo, é necessária uma infraestrutura de comunicação prática e que atenda alguns requisitos de qualidade (QoS) (YAN et al., 2013).

## **2.4 Requisitos quantitativos e qualitativos de qualidade de serviço (QoS)**

Criar uma infraestrutura de telecomunicações que permita a integração de diversos usuários dentro de uma rede de energia elétrica é um grande desafio do desenvolvimento das *smart grids* (LOPES et al., 2012). Essa infraestrutura de comunicação precisa atingir alguns requisitos de qualidade para que seja possível ser colocada em prática (YAN et al., 2013). Esses requisitos são separados em duas categorias, os requisitos quantitativos e requisitos qualitativos (FAHEEM et al., 2018).

Os requisitos quantitativos são indicadores de desempenho para comunicações que podem ser especificados de maneira mensurável. Já os requisitos qualitativos são características de suporte de sistemas de comunicação que não podem ser especificados de maneira mensurável, mas são desejáveis para provedores de serviços e usuários (FAHEEM et al., 2018). A seguir estão listados os requisitos quantitativos, que são do 2.4.1 ao 2.4.5, e os qualitativos que são do 2.4.6 ao 2.4.10, e uma breve explicação de cada.

### **2.4.1 Latência**

Latência é uma medida de atraso na transmissão de dados entre os componentes. É um dos requisitos essenciais para a resposta à demanda, já que os dados, que são em formato de texto, precisam ser transmitidos em tempo real, e segundo Yan et al. (2013) o tempo máximo permitido para aplicações em tempo real está na faixa de (12 - 20) ms. É necessário que as informações dos consumidores, que são proveniente dos medidores inteligentes, como por exemplo os dados de consumo e geração, caso o cliente possua uma microgeração, sejam em tempo real para que seja possível realizar ações para solucionar a alta demanda, principalmente

nos horários de pico. Outro caso que necessita ser em tempo real, é na hora de detectar falhas ou interrupções, pois a demora para solucionar esse tipo de problema acarreta na qualidade do serviço, gerando insatisfações dos clientes e prejuízos financeiros. Na hora da escolha do tipo de comunicação esse requisito de tempo deve ser analisado para satisfazer os requisitos mínimos de atraso (FAHEEM et al., 2018).

#### 2.4.2 Largura de banda

As frequências de rádio baixa, média e alta têm sua função específica com base nos requisitos de aplicação nas *smart grids*. Para comunicação de curta distância, as faixas de frequência alta e média podem ser usadas devido à sua largura de banda mais ampla, o que faz com que as taxas de dados sejam mais altas. Enquanto as faixas de baixa frequência pode ser usadas para comunicação de longa distância, de alta qualidade, e quando comparadas com as frequências mais altas podem penetrar facilmente através de objetos (FAHEEM et al., 2018). Segundo Yan et al. (2013) a largura de banda para AMI deve ser entre (10 -100) kHz por dispositivo, e 500 kHz para o concentrador de dados, e para a aplicação da resposta à demanda deve ser entre (14 - 100) kHz por dispositivo.

#### 2.4.3 Tipos de dados

Grande parte das aplicações de *smart grid* estão gerando um grande volume de dados e de diversos tipos, como por exemplo, dados de texto, imagens, áudio, vídeo. Portanto, dependendo da aplicação e do tipo de dado que gera, a escolha de uma tecnologia de comunicação apropriada é essencial para alcançar transferências de dados de maneira confiável e precisa (FAHEEM et al., 2018).

#### 2.4.4 Taxa de transferência de dados

A taxa de transferência é a soma dos dados transferidos entre os diferentes componentes em um intervalo de tempo específico. Dependendo da aplicação na smart grid, a taxa de transferência ajudará a definir o tipo de comunicação a ser escolhida (FAHEEM et al., 2018). Segundo Yan et al. (2013) a taxa de transferência para AMI e para a resposta à demanda deve ser entre (3 - 10) Mb/s. Essa taxa de

transferência de dados é relativamente baixa pelo motivo do tipo de mensagem ser em formato de texto, não havendo a necessidade de ser muito alta.

#### 2.4.5 Confiabilidade

A confiabilidade é requisito que define como os sistemas de comunicação trocam mensagens em tempo hábil e de acordo com suas especificações, ou seja, o sistema tem que ser confiável para que a troca de mensagens seja bem sucedida (FAHEEM et al., 2018). Alam et al. (2017) mencionam que dependendo da aplicação no ambiente, os dados podem ser muito diversos em termos de criticidade, e dependendo desse nível é fundamental que a comunicação para devida aplicação seja capaz de priorizar seus dados para transmissão.

#### 2.4.6 Precisão de dados

A precisão dos dados é um índice que possui relação direta à precisão dos componentes da *smart grid* (FAHEEM et al., 2018).

#### 2.4.7 Validade de dados

Esse requisito é um fator importante que tem a função de recuperar as informações úteis diante da grande quantidade de dados dos diversos dispositivos inteligentes da *smart grid*. A validade dos dados deve ser cada vez mais aprimorada para que seja possível fornecer, de forma eficiente, uma variedade de serviços aos clientes (FAHEEM et al., 2018).

#### 2.4.8 Acessibilidade

Os clientes devem ter oportunidades iguais e sem discriminações de ter acesso aos serviços das aplicações da *smart grid* (FAHEEM et al., 2018).

#### 2.4.9 Interoperabilidade

A interoperabilidade é quando há diversos componentes da *smart grid*, que usam diferentes tipos de tecnologias e protocolos de comunicação, para que haja uma troca de dados eficiente entre si essas tecnologia e protocolos têm que ser combinadas, sendo assim a interoperabilidade é essencial para garantir a troca de dados padrão com o mesmo significado (FAHEEM et al., 2018).

#### 2.4.10 Segurança

Um dos maiores problemas da *smart grid* é a proteção dos dados críticos provenientes dos dispositivos inteligentes, em todas as aplicações da AMI e reposta a demanda devem possuir uma comunicação bidirecional segura e com proteções contra ataques físicos e cibernéticos (FAHEEM et al., 2018).

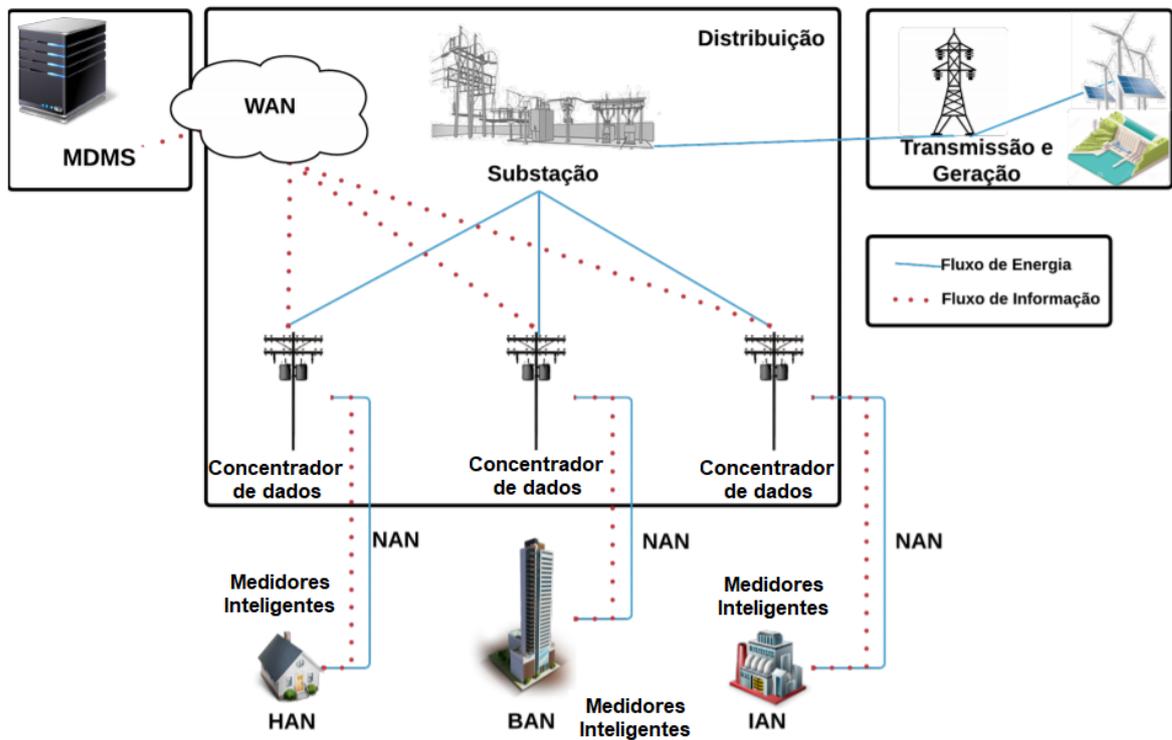
Com os requisitos listados, vale ressaltar que Lopes et al. (2012) mencionam que o requisito da interoperabilidade é o fator central nos projetos das *smart grids*, e que há várias organizações que estão trabalhando para o desenvolvimento de padrões internacionais e nacionais a fim de chegar em um conjunto de normas, padrões e tecnologias para sistemas *smart grid*. Lopes et al. (2012) também comentam que a falta da padronização é um dos principais entraves para a aplicação da AMI.

O subcapítulo a seguir é a respeito de como a AMI é separada por arquiteturas de redes, e os tipos de tecnologias que podem ser usadas em cada região.

### 2.5 Infraestrutura de comunicação e tipos de tecnologia de comunicação

A infraestrutura de comunicação da AMI pode ser separada por três tipos de arquitetura de rede, a primeira é a rede local (HAN), a segunda é a rede de vizinhança (NAN) e a terceira é a rede de longa distância (WAN), e nessas três arquiteturas é possível utilizar os mais diversos tipos de tecnologias de comunicação, podendo ser as com fio ou as sem fio (ALAM et al., 2017). A Figura 5 é a representação da infraestrutura de comunicação com as redes de uma AMI.

Figura 5 - Aplicação AMI com as arquiteturas de rede



Fonte: Lopes et al (2016) com adaptações da autora.

### 2.5.1 Rede local (HAN)

A rede local pode ser classificada em HAN quando em ambiente residencial, em ambiente comercial ela é classificada como *Business Area Network* (BAN) e no ambiente industrial ela é classificada como *Industrial Area Network* (IAN), então as funções das redes locais podem variar conforme os diferentes ambientes (ALAM et al., 2017).

Conforme Torsten e Krzysztof (2015) na arquitetura de rede de comunicação, a rede local está em uma das extremidades da rede, onde estão os clientes da AMI, em geral ela é composta de aparelhos interconectados domésticos, medidores inteligentes, veículos elétricos, sensores e dispositivos inteligentes.

Alam et al. (2017) mencionam que para as aplicações AMI e resposta à demanda, vale ressaltar que aqui estão os medidores inteligentes, que além de monitorar e controlar os dispositivos inteligentes dentro das instalações do cliente, eles também agem como um *gateway* de comunicação entre as arquiteturas de rede

HAN e NAN. A área de cobertura das redes HAN, possui um alcance de 1 a 100 metros e sua taxa de transferência de dados varia de 1 a 100 kb/s (ALAM et al., 2017).

Geralmente aplicações da rede local, não necessitam de uma elevada largura de banda. Os requisitos de rede mais importantes são o baixo consumo de energia, baixo custo, baixa latência e segurança (ALAM et al., 2017).

As tecnologias de comunicação que geralmente são usadas na HAN são ZigBee, Wi-Fi, PLC, Bluetooth (ALAM et al., 2017).

### 2.5.2 Rede de vizinhança (NAN)

A rede de vizinhança (NAN) pode ser chamada de *Field Area Network* (FAN), a rede é chamada de FAN quando ela estiver conectada a dispositivos eletrônicos inteligentes (ALAM et al., 2017).

Segundo Torsten e Krzysztof (2015) na NAN são realizadas medições que fazem a leitura remota de medidores inteligentes além de ser a região que controla e detecta o uso não autorizado. E Alam et al. (2017) complementam que na rede NAN também a região onde permite a aplicação da resposta à demanda, onde é possível detectar e gerenciar as quedas de energia, além de monitorar e automatizar a distribuição de energia. Para a AMI e conforme na Figura 5, ali estão os concentradores de dados, eles são responsáveis por coletar os dados provenientes dos medidores inteligentes dos clientes, compilar esses dados e passar para o MDMS que está na próxima estrutura de rede, a WAN.

A área de cobertura das redes NAN, possui um alcance de 100 a 10.000 metros e sua taxa de transferência de dados varia de 100 kb/s a 10 Mb/s (ALAM et al., 2017). Um concentrador de dados pode ter de algumas centenas a poucos milhares de medidores inteligentes cobrindo vários quilômetros quadrados e cada medidor inteligente pode precisar de 100 kb/s a 10 Mb/s (ALAM et al., 2017).

As tecnologias de comunicação que geralmente são usadas nessa rede são Wi-Fi, ZigBee, PLC, tecnologias celulares como 3G / 4G ou WiMAX (ALAM et al., 2017).

### 2.5.3 Rede de longa distância (WAN)

A rede de longa distância está na outra extremidade da arquitetura de rede de comunicação da AMI. Conforme Alam et al. (2017), a rede WAN é a espinha dorsal da comunicação das *smart grids*, pois ela coleta informações de vários NANs e as encaminha para o MDMS.

A área de cobertura das redes WAN, possui um alcance de 10.000 a 100.000 metros e sua taxa de transferência de dados varia de 10 Mb/s a 1 Gb/s (ALAM et al., 2017).

As tecnologias de comunicação que geralmente são usadas nessa rede são a fibra óptica, tecnologia celular como o 4G LTE, o WiMAX e satélite (ALAM et al., 2017).

Como pode ser visto há uma grande variedade de tecnologias de comunicação que usualmente são utilizadas nas três arquiteturas de rede, a região NAN e WAN já usam as tecnologias celulares, 3G e 4G. Como o objetivo deste estudo é o uso da tecnologia de comunicação 5G nas aplicações de AMI e resposta à demanda, a seção a seguir fará um breve histórico da tecnologia celular e comenta detalhes da tecnologia 5G.

## 2.6 Tecnologia de comunicação 5G

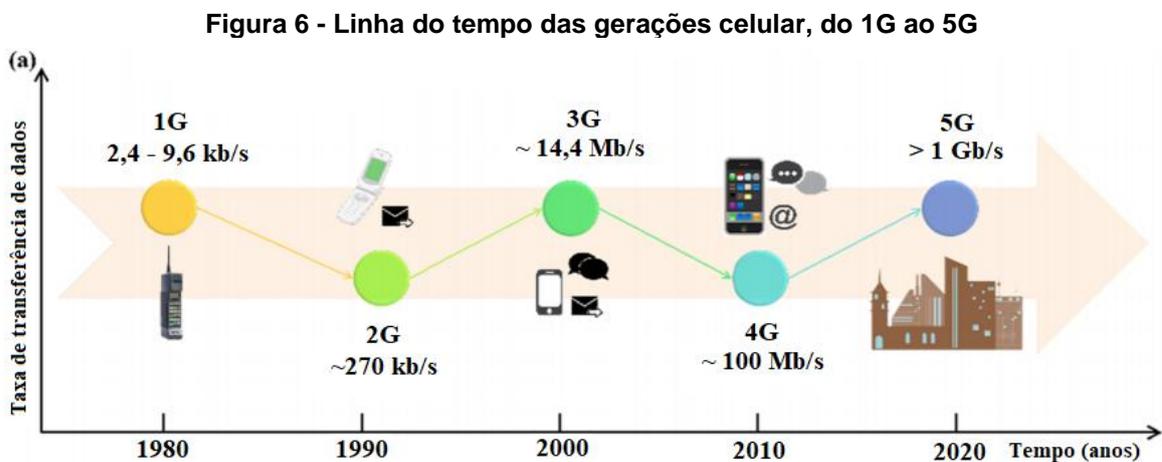
Para falar sobre o 5G é necessário fazer um breve histórico desse tipo de tecnologia de comunicação e suas respectivas gerações. Segundo Surantha et al. (2017, apud Hui et al 2020), a geração celular começou a ser desenvolvida na década de 1970 com a primeira geração (1G) e quase 50 anos depois, na década de 2020, foi desenvolvida a geração 5G. A primeira geração foi a única a usar comunicação analógica e só tinha a capacidade de transportar chamadas de voz, a taxa de transferência de dados era de apenas 2,4 a 9,6 kb/s (SURANTHA et al. 2017, apud HUI et al 2020).

As gerações seguintes, da 2G até a 5G, já possuem comunicação digital. Conforme Medin et al. (2019 apud Hui et al., 2020) a geração 2G surgiu na década de 1990 e sua taxa de transferência de dados chegou a ser 270 kb/s, com essa taxa de transferência era possível fazer ligações e enviar mensagens de texto, ainda não era possível fazer transferência de imagens. Depois de mais uma década, em 2000,

a geração 3G surgiu e a taxa de transferência de dados dessa geração chegou a ser 14,4 Mb/s no estado estacionário e 350 kb/s no estado móvel, com esse aumento da taxa de transferência de dados foi possível fazer chamadas de vídeo e enviar mensagens multimídia (MEDIN et al., 2019 apud HUI et al., 2020).

A geração 4G surgiu na década de 2010 e é a geração mais utilizada em todo mundo atualmente. Medin et al. (2019 apud Hui et al., 2020) mencionam que o 4G possui uma taxa de transferência de dados de aproximadamente 300 Mb/s e, devido a esse aumento da taxa foi possível começar a conectar mais dispositivos inteligentes na rede, no entanto, existem alguns problemas da 4G que ainda dificultam a conexão de grandes quantidades de dispositivos inteligentes. Alguns exemplos de problemas da 4G é que essa tecnologia possui limites para o número de dispositivos conectados, possui alta latência para determinadas aplicações e não há muita segurança da informação, o que faz com que não haja garantia da privacidade dos consumidores (MEDIN et al., 2019 apud HUI et al., 2020).

A Figura 6 mostra a linha do tempo das gerações celular e suas respectivas taxas de transferência de dados.



Fonte: Hui et al. (2020) com adaptações da autora.

A geração 5G começou a ser implantada no final do ano de 2018, porém ela ainda está em desenvolvimento. Para falar a respeito do 5G primeiro é necessário mencionar que há uma agência da Nações Unidas em Telecomunicações, a União Internacional de Telecomunicações (UIT), que é o órgão responsável por desenvolver e aprovar as especificações e as faixas de frequência das tecnologias celular

(ANATEL, 2021)<sup>7</sup>. A UIT começou a desenvolver o projeto do 5G ainda em 2012, onde definiu que a nomenclatura do padrão 5G é a IMT-2020 (3GPP, 2020)<sup>8</sup>. Conforme notícia da Anatel (2021)<sup>7</sup> desde 2012 a UIT estava em um processo para avaliar técnicas de diversos consórcios de pesquisa sobre o 5G, e no início do ano de 2021, a UIT publicou a Recomendação ITU-R M.2150 “*Detailed specifications of the radio interfaces of IMT-2020*”. Nessa notícia há a informação que o UIT informou que três tecnologias são candidatas para serem classificadas como IMT-2020, sendo que duas delas são do 3GPP (do inglês *3rd Generation Partnership Project*). Os padrões desenvolvidos pelo 3GPP sempre são estruturados em *Releases* e cada *Release* estabelece especificações técnicas e reportes técnicos, os quais podem passar por diversas revisões e evoluções em 2022 (ANATEL, 2021)<sup>7</sup>. Os padrões que o UTI aprovou do 3GPP para o 5G são os *Release 15* e *16* (3GPP, 2020)<sup>8</sup>. Porém no final de 2020 já foi divulgado o *Release 17* que tem previsão de ser concluído no ano de 2022 (ANATEL, 2021)<sup>7</sup>. Dito isso, detalhes e peculiaridades do 5G serão mencionadas a seguir.

Uma das peculiaridades do 5G é que alguns espectros de frequência são mais altos do que os espectros das gerações antecessoras, e esse fato traz consigo uma série de características (HUI et al., 2020). Segundo Horwitz (2019) o 5G opera em três bandas de frequência, sendo elas a de baixa frequência, a de média frequência e a de alta frequência.

A banda de baixa frequência geralmente utiliza uma faixa de frequência de 600 a 700 MHz, possui uma taxa de transferência de dados que varia de 30 a 250 Mb/s. Essa taxa de transferência quando comparada ao 4G chega a ser 2 vezes mais rápida. Uma torre 5G de banda baixa pode atender clientes em um raio de milhares de metros quadrados, possibilitando a cobertura até mesmo em zonas rurais e locais remotos (HORWITZ, 2019).

A banda de média frequência geralmente utiliza uma faixa de frequência 2,5 a 3,5 GHz, e possui uma taxa de transferência de dados que varia de 100 a 900 Mb/s HORWITZ (2019). Conforme a GSMA (2021), as bandas médias geralmente oferecem uma boa mistura de cobertura e capacidade para serviços 5G.

---

<sup>7</sup> Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/tecnologia-5g>. Acesso em: 07 de julho de 2021.

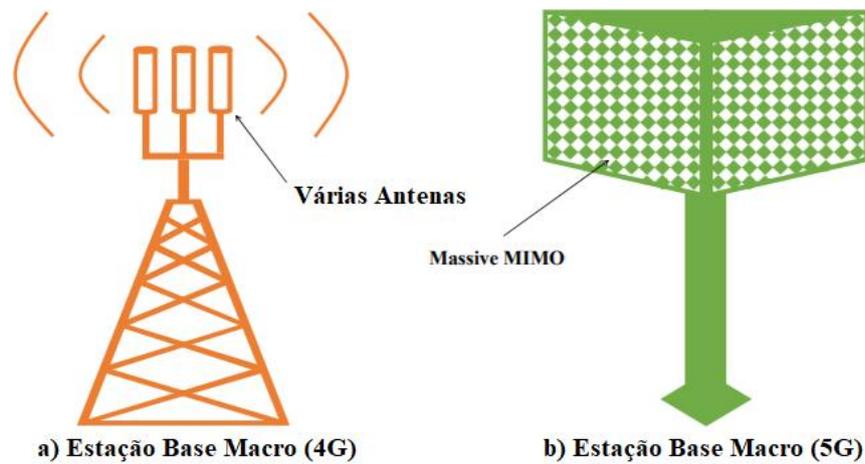
<sup>8</sup> Disponível em: <https://www.3gpp.org/news-events/2143-3gpp-meets-imt-2020>. Acesso em: 07 de julho de 2021.

A banda de alta frequência geralmente utiliza uma faixa de frequência 24 a 39 GHz e possui uma taxa de transferência de dados de 1 a 3 Gb/s. Quando comparada com a taxa de transmissão da 4G, a da banda alta chega a ser de 30 a 80 vezes mais rápida (HORWITZ, 2019).

Sobre as bandas de alta frequência, Hui et al. (2020) menciona que essas frequências são ondas milimétricas (mmWave - do inglês *millimeter wave*) e elas possuem esse nome pelo fato do comprimento de onda ser na faixa dos milímetros. Sendo assim, para as frequências de (24 a 39) GHz o comprimento de onda terá a variação de aproximadamente (12,5 a 7,7) mm (HUI et al. 2020). Segundo Medin et al. (2019, apud HUI et al., 2020), o fato de ter o comprimento de onda em milímetros faz com que o sinal possa criar feixes mais estreitos, de modo que seja possível uma transmissão de dados com maior velocidade, menor latência e mais segurança e além disso, esses tipos de ondas possuem maior largura de banda e evitam congestionamentos durante o processo de transferência de dados.

Medin et al. (2019 apud Hui et al., 2020) mencionam que os componentes necessários para desenvolver as estruturas das ondas milimétricas, quando comparado com as demais bandas de frequências média e baixa, há uma diminuição no tamanho dos componentes e esse fato faz com que seja possível implementar a tecnologia de múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO - do inglês *Massive Multiple-Input Multiple-Output*). Essa tecnologia permite que seja implementado várias antenas em uma única estação base, essas antenas estão ligadas eletricamente e a combinação elétrica faz com que seja melhorado e estendido a largura de banda de transmissão, o rendimento de dados e a eficiência (MEDIN et al., 2019 apud HUI et al. 2020). Além disso, Hui et al. (2020) menciona que foi comprovado que a tecnologia MIMO massiva pode alcançar melhorias dramáticas na capacidade de transferência dos dados, no gerenciamento de interferência e na eficiência energética. A Figura 7 mostra a diferença entre uma estação base macro para uma rede 4G (Figura 7.a) e uma estação base macro para o 5G (Figura 7.b). O número de antenas em estações base macro da 4G geralmente é 8, enquanto o número de antenas para estação base macro do 5G pode atingir de 32 a 256 (HUI et al., 2020).

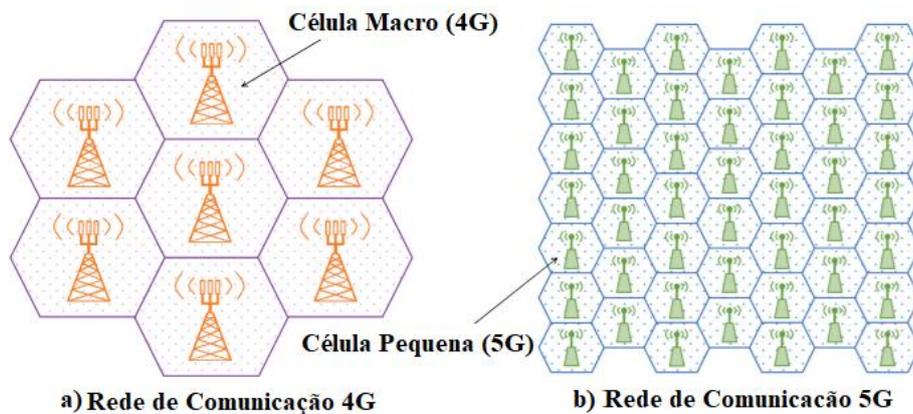
**Figura 7 - Exemplo de estações base para redes 4G e 5G**



Fonte: Hui et al (2020) com adaptações da autora.

Porém, conforme Xiaohu et al. (2016 apud HUI et al., 2020), ao mesmo tempo que o comprimento de onda em milímetros e os feixes mais estreitos aumentam a velocidade de transferência de dados e a segurança do sinal, eles também delimitam a distância de transmissão para aproximadamente 100 metros e são facilmente bloqueadas por obstáculos. Por esse motivo, é necessário implementar um número grande de pequenas células nas redes para formar as redes celular ultra densas (do inglês *Ultra-dense Cellular Networks*), dessa maneira é possível garantir a cobertura contínua das redes celulares 5G (XIAOHU et al., 2016 apud HUI et al., 2020). Uma comparação da densidade entre estações base para redes 4G e 5G é mostrada na Figura 8.

**Figura 8 - Densidades de células entre estações base para redes 4G e 5G**



Fonte: Hui et al. (2020) com adaptações da autora.

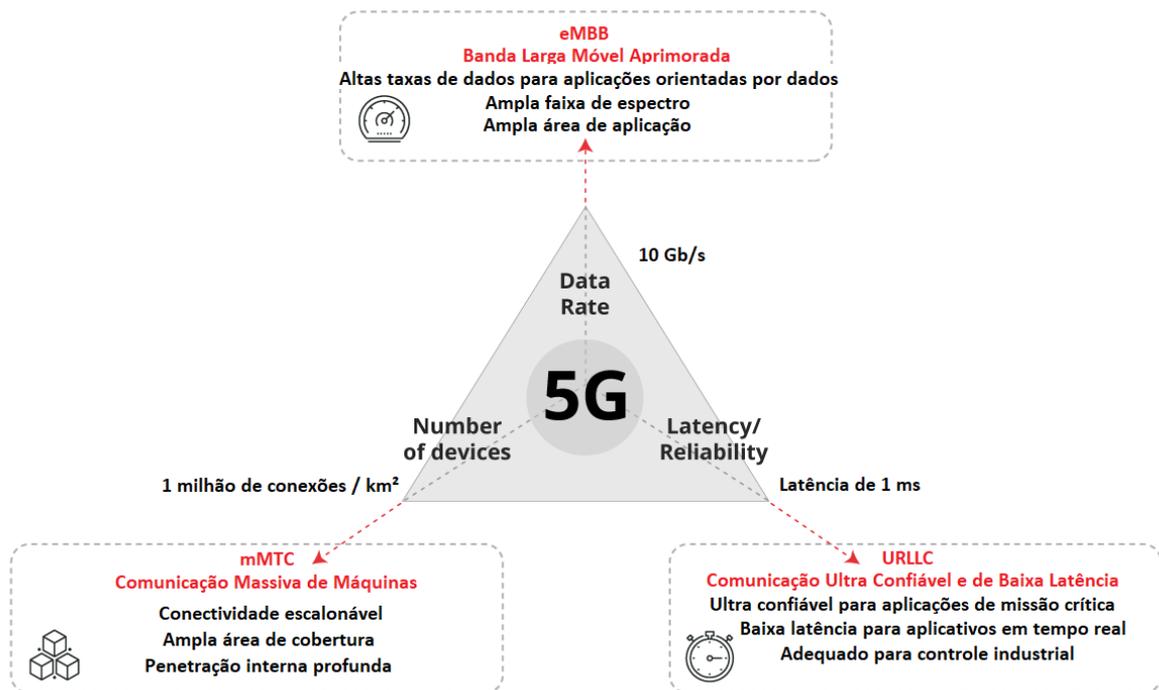
A Figura 8 mostra exemplos de estações base do sinal 4G (Figura 8.a) e estação de sinal base 5G (Figura 8.b). Geralmente a densidade de estações base macro (BS - do inglês *Base Station*) para redes 3G é de (4 a 5) BS/km<sup>2</sup>, para redes 4G é de cerca de (8 a 10) BS/km<sup>2</sup> e para redes 5G está previsto de (40 a 50) BS/km<sup>2</sup> (XIAOHU et al., 2016 apud HUI et al., 2020).

Além das novas faixas de frequências, Ordonez-Lucena et al. (2017) menciona que o 5G terá uma nova arquitetura de rede que servirá para apoiar o desenvolvimento de setores de energia, saúde, manufatura e automotivo. Essa nova arquitetura envolve técnicas de rede definidas por software (SDN - do inglês *Software Defined Network*) e virtualização das funções de rede (NFV - do inglês *Network Functions Virtualization*). Com o uso das técnicas é possível fornecer a programabilidade, flexibilidade e modularidade necessárias para criar várias redes lógicas (virtuais). Por sua vez, essas redes lógicas são chamadas de fatias de rede (do inglês *network slices*). Essa nova arquitetura conseguirá fornecer bons requisitos de latência, escalabilidade, disponibilidade e confiabilidade, requisitos que as demais tecnologias de comunicação com suas arquiteturas de rede não são capazes de oferecer.

Ordonez-Lucena et al. (2017) informa que o conceito de redes virtuais separadas implantadas em uma única rede não é algo novo e fala do exemplo das redes virtuais privadas (VPN - do inglês *Virtual Private Network*). O que torna as fatias de rede um conceito novo é que eles definem as fatias de rede como redes lógicas ponta a ponta que são executadas em uma rede subjacente comum, que pode ser física ou virtual, que são mutuamente isoladas, com controle e gerenciamento independentes e que podem ser criadas sob demanda. Além disso, elas podem acomodar simultaneamente diversos casos de uso de vários participantes em uma infraestrutura de rede comum.

Com essa técnica de fatiamento da rede (*networking slice*) foram criadas 3 fatias, ou melhor dizendo, 3 cenários. O primeiro cenário será na aplicação de banda larga móvel aprimorada (eMBB - do inglês *Enhanced Mobile Broadband*), o segundo cenário será a aplicação de comunicação ultra confiável e de baixa latência (uRLLC - do inglês *Ultra-reliable and Low-latency Communications*) e o terceiro cenário será na aplicação de comunicação massiva de máquinas (mMTC - do inglês *Massive Machine Type Communications*) ERICSSON (2020). A Figura 9 mostra a pirâmide com os 3 cenários.

**Figura 9 - Três cenários de aplicações do 5G**



Fonte: INCIBE (2019) com adaptações da autora.

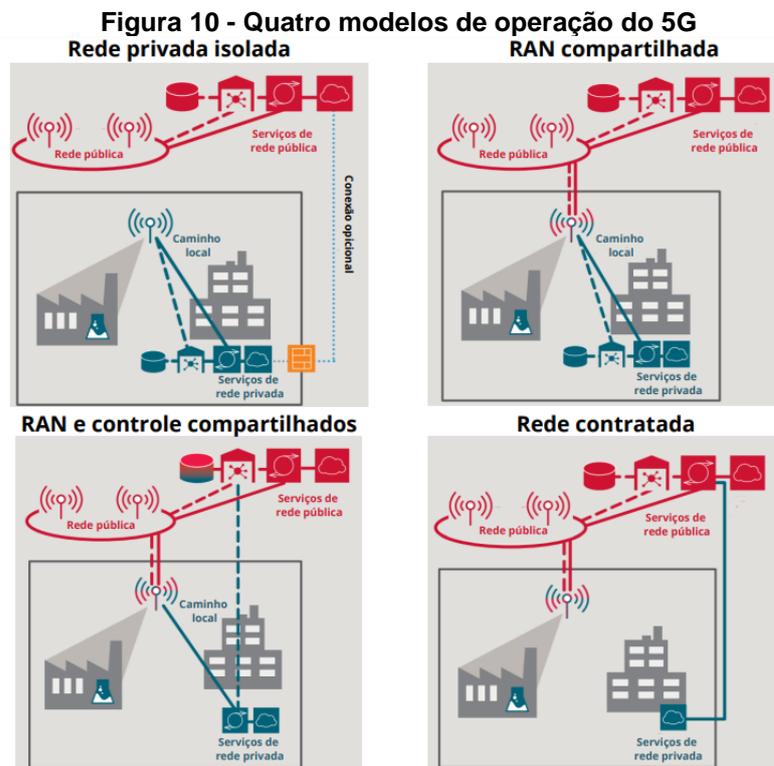
O eMBB é o cenário de aplicações que necessitam de serviços de um alta velocidade de transferência de dados, suportar um grande volume de dados e ter uma baixa latência. Sua velocidade de transferência de pico pode chegar a 20 Gb/s para *dowlink* e 10 Gbps para *uplink*. A capacidade de tráfego em uma área pode chegar a 10 Mb/s em cada metro quadrado e a latência será em torno de 4ms (ERICSSON, 2020).

O segundo cenário, o uRLLC, possui aplicações em tempo real que necessitam de uma latência muito pequena e alta confiabilidade. A latência é definida como o período desde o momento de envio de dados pela estação base até o momento de recebimento de dados por dispositivos terminais. Para esse cenário de aplicações, o uRLLC promete fornecer alta confiabilidade do sistema e latência de 1ms (ERICSSON, 2020).

O último cenário é o mMTC, ele é destinado a aplicações que precisam conectar um grande número de dispositivos em uma determinada região. O mMTC promete conectar 1 milhão de dispositivos por quilômetro quadrado. Os casos de uso comuns incluem sensores, medidores, atuadores, rastreadores e vestíveis de baixo custo (ERICSSON, 2020).

A fim de demonstrar como o 5G pode ser uma tecnologia de comunicação que irá transformar o mercado, uma reportagem da empresa Intel, Evans (2017)<sup>9</sup> menciona que o 5G irá possibilitar a conexão de alguns dos 50 bilhões de dispositivos inteligentes que a empresa prevê produzir nos próximos anos. Isso será possível pois essa nova geração irá proporcionar uma taxa de transferência de dados exponencialmente mais rápida e diminuirá drasticamente a latência.

Já foram mencionadas as bandas de frequências e o grande diferencial do 5G, que são os 3 cenários de aplicação, porém falta mencionar que há quatro modelos de operação das redes 5G. Em um Webinar da CIGRE (2021)<sup>10</sup> sobre a aplicação da tecnologia 5G no Setor Elétrico que aconteceu em junho de 2021 e está disponível no canal do *youtube* da CIGRE Brasil, o representante da ANATEL, Patrício Takeshi Ikeda, menciona no tempo 1h:39min, que há quatro modelos de operação de redes privadas que foram desenvolvidos pelo 5GARCIA (2019). A Figura 10 contém os quatro modelos de operação.



Fonte: 5GARCIA (2019) com adaptações da autora.

<sup>9</sup> Disponível em: <https://newsroom.intel.com/editorials/intel-accelerates-the-future-with-first-global-5g-modem/#gs.6z6bky>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

<sup>10</sup> Disponível em: Disponível em: <https://youtu.be/w2yMIIZU9qE?t=5821>. Acesso em: 09 de julho de 2021. [WEBINAR].

O primeiro tipo é a rede privada isolada, nesse modelo há um espectro próprio e a rede é independente. A responsabilidade pela operação total da rede é da indústria (CIGRE, 2021)<sup>10</sup>. Conforme Mattos (2020), uma rede 5G privada tem conectividade unificada, serviços otimizados e um meio de comunicação seguro. Quando comparada com o wi-fi convencional ela é considerada superior e pode dispensar a intermediação das operadoras de telefonia quando a empresa já contar com a tecnologia para implementar suas próprias soluções de forma independente.

O segundo tipo é RAN compartilhada, nesse modelo o espectro é da operadora, as funções da rede são segregadas e a estação rádio base é compartilhada. A responsabilidade do controle da rede e do tráfego dos dados é da indústria (CIGRE, 2021)<sup>10</sup>.

O terceiro modelo é o RAN e controle da rede compartilhados, nesse modelo o espectro é feito por separação lógica proveniente da aplicação da técnica de *network slice* e o controle da rede é feito pela operadora, vale salientar que os dados da indústria não fluem pela rede pública (CIGRE, 2021)<sup>10</sup>.

E o último modelo é o da rede contratada, neste modelo a rede é totalmente provida pela operadora e a distinção dos dados privados que trafegam pela rede pública é feita por meio da *network virtualization* (CIGRE, 2021)<sup>10</sup>.

### 2.6.1 Tecnologia de comunicação 5G no cenário brasileiro

Até a conclusão deste trabalho, setembro de 2021, não havia o sinal 5G no cenário brasileiro, porém o leilão das faixas de frequências estava previsto para acontecer ainda no ano de 2021. Em uma matéria publicada em abril de 2021 por Oliveira (2021)<sup>11</sup>, repórter da Agência Brasil, no leilão do 5G serão ofertadas quatro faixas de frequências. A primeira faixa é de banda baixa e será de 700 MHz, inicialmente será usada para ampliar o sinal da 4G das telefônicas e eventualmente será a faixa que sensores inteligentes e carros conectados irão utilizar. A segunda e terceira faixa fazem parte da banda média, sendo elas de 2,3 GHz e 3,5 GHz. A de 2,3GHz também será usada para ampliar o sinal 4G das telefônicas, porém ela possui uma alta capacidade para áreas densamente povoadas e será a frequência padrão

---

<sup>11</sup> Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-04/leilao-do-5g-entenda-o-que-vem-por-ai-e-conheca-novidades>. Acesso em: 31 de maio de 2021.

de operação para dispositivos em geral. A de 3,5 GHz deverá ser a faixa mais concorrida no leilão pois ela possui uma capacidade de transmissão de dados em altíssima velocidade. E a quarta e última faixa será a de 26 GHz, ela será a faixa onde acontecerá a transmissão de dados em larga escala, as indústrias e alguns setores da economia irão utilizar essa faixa.

Essas são as faixas que fazem parte do leilão do ano de 2021, porém já há definições de outras faixas de frequência e estudos de possíveis faixas para ampliação do 5G no Brasil. No Webinar da CIGRE (2021)<sup>10</sup> o representante da ANATEL, Patrício Takeshi Ikeda, informa a partir do tempo 1h:47min, quais são as próximas faixas de frequências aprovadas e as que estão sendo estudadas. Ele ainda menciona quais subfaixas que serão para serviço privado (SLP - Serviço Limitado Privado) e quais serão para as concessionárias, que são identificadas com a sigla (SMP - Serviço Móvel Pessoal) e (SCM - Serviço de Comunicação Multimídia).

A Tabela 1 mostra um compilado de faixas de frequência até 3,5GHz destinadas ao 5G e que Patrício mencionou no Webinar.

**Tabela 1 - Faixas de frequência até o 3,5GHz destinadas ao 5G**

Faixa (MHz)	Subfaixa (MHz)	Total (MHz)
450	(451 - 458) e (461 - 468)	14
700	(703 - 748) e (758 - 803)	90
850	(806 - 821) / (824 - 849) (851 - 866) / (869 - 894)	80
900	(898,5 - 901) / (907,5 - 915) (943,5 - 946) / (952,5 - 960)	20
Somatório das subfaixas abaixo de 1GHz		204

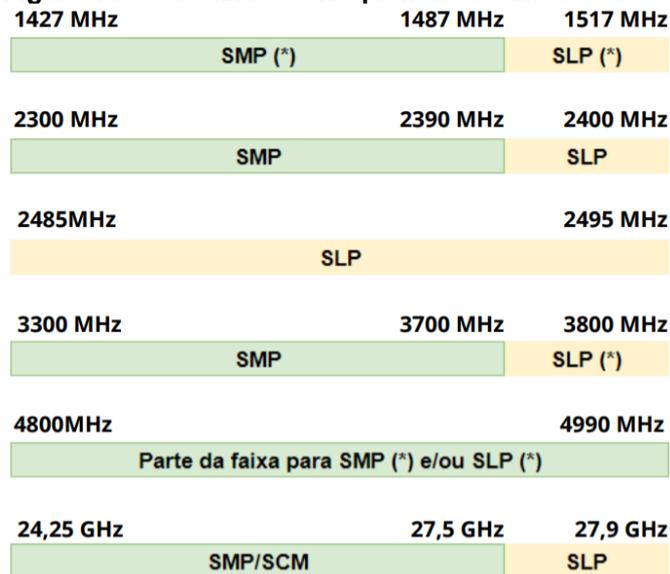
Faixa (GHz)	Subfaixa (MHz)	Total (MHz)
1,8	(1710 - 1785)	150
	(1805 - 1850)	
	(1850 - 1880)	
2,1	(1885 - 1900)	135
	(1920 - 1980)	
	(2110 - 2170)	
2,3	(2300 - 2400)	100
2,5	(2500 - 2690)	190
Somatório das subfaixas entre 1GHz e 3GHz		575

Faixa (GHz)	Subfaixa (MHz)	Total (MHz)
3,5	(3300 - 3700)	400
Somatório das subfaixas acima de 3GHz		400

Fonte: Desenvolvido pela autora com base no Webinar CIGRE (2021)<sup>10</sup>.

Dentre as faixas de frequência que serão leiloadas neste ano, Patrício comenta sobre as subfaixas de frequência de 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz. A Figura 11 contém as subfaixas que serão destinadas aos serviços privados (SLP) e às concessionárias (SCM e SMP), as subfaixas que possuem (\*) estão na fase de estudos.

**Figura 11 - Subfaixas de frequência destinadas ao 5G**



Fonte: Desenvolvido pela autora com base no Webinar CIGRE (2021)<sup>10</sup>.

Patrício também comenta sobre as futuras faixas de frequência, a Tabela 2 contém essas frequências e suas respectivas largura de banda.

**Tabela 2 - Futuras faixas de frequência destinadas ao 5G**

Faixa	Largura
(6425 - 7025) MHz	600 MHz
(7025 - 7125) MHz	100 MHz
(10,0 - 10,5) GHz	500 MHz
(24,25 - 27,5) GHz	3250 MHz
(37 - 43,5) GHz	6500 MHz
(45,5 - 47) GHz	1500 MHz
(47,2 - 48,2) GHz	1000 MHz
(66 - 71) GHz	5000 MHz

Fonte: Desenvolvido pela autora com base no Webinar CIGRE (2021)<sup>10</sup>.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia necessária para este tipo de estudo é uma Revisão da Literatura (RL). Existem três principais tipos de RL, são elas: Revisões Narrativas da Literatura (RNL), Revisões Integrativas da Literatura (RIL) e Revisões Sistemáticas da Literatura (RSL). Elas se diferem por critérios de coleta e análise do material selecionado. O Quadro 1 mostra as principais características dos três tipos de RL (UNESP, 2015).

**Quadro 1 - Diferentes tipos de Revisão da Literatura**

<b>Características</b>	<b>Revisão Narrativa da Literatura (RNL)</b>	<b>Revisão Integrativa da Literatura (RIL)</b>	<b>Revisão Sistemática da Literatura (RSL)</b>
<b>Tema do estudo</b>	Abrangente	Especifica o objeto de estudo	Especifica o objeto de estudo
<b>Crítérios de busca</b>	Não especificados	Coleta e analisa os estudos primários	Coleta e analisa os estudos experimentais
<b>Seleção dos artigos</b>	Seleção arbitrária	Crítérios de busca especificados	Crítérios de busca especificados e reprodutíveis
<b>Análise</b>	Análise crítica pessoal do pesquisador	Análise sumária dos estudos	Análise a qualidade metodológica dos estudos
<b>Possui evidência científica?</b>	Evidência científica a ser questionada	Evidência científica comprovada	Nível elevado de evidência científica

Fonte: Desenvolvido pela autora com base no UNESP (2015).

Os três tipos de revisão são válidos, porém o RNL geralmente é utilizado para a fundamentação teórica de artigos, dissertações, teses e trabalhos de conclusão de cursos. Esse tipo de revisão foi utilizado na hora da fundamentação teórica deste trabalho de conclusão de curso.

Para o desenvolvimento do estudo, a acadêmica escolheu pela Revisão Sistemática da Literatura (RSL). O motivo da escolha foi pelo fato deste tipo de estudo possuir um nível elevado de evidência científica e além do método de seleção dos artigos ser especificado e reprodutível. O método utilizado neste estudo foi o de Kitchenham (2004), este método é bem conceituado e pode ser aplicado a uma variedade de campos de estudo. Inicialmente era muito utilizado na área da saúde, porém nos últimos tempos as áreas de engenharia e ensino estão utilizando desse tipo de metodologia para seus estudos.

### 3.1 Revisão Sistemática da Literatura pelo método de Kitchenham

A RSL tem o objetivo de analisar e sintetizar informações de estudos existentes, gerando novos resultados e conclusões. O método que está descrito a seguir foi retirado do artigo de Kitchenham et al. (2009) que possui o título “*Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review*”. O método do artigo se baseia no método de Kitchenham (2004). O método divide o processo em três fases principais: planejamento, condução da revisão e relatar a revisão. Conforme os métodos, a revisão sistemática possui as seguintes etapas.

#### 1. Planejamento.

##### a. Identificação da necessidade de revisão.

##### i. Estado atual da pesquisa do problema.

Nesta etapa é o ponto de partida do processo. Aqui alguns elementos devem ser abordados no problema de pesquisa, tais como o objetivo da RSL, quais serão as questões de pesquisa, justificativa do estudo, viabilidade do estudo, disponibilidade de recursos e o âmbito do estudo.

##### ii. Questões de pesquisa.

Nesta etapa são feitas questões que nortearão todo o processo, pois sintetizam os interesses intrínsecos do pesquisador, e o conhecimento que este possui do estado da ciência específica.

##### iii. Definição do PICOC.

O PICOC é a abreviação em inglês das palavras, *population, intervention, comparison, outcome e context*. que em português respectivamente significam população, intervenção, comparação, resultados e contexto. Nessa etapa é necessário definir palavras chaves que se encaixam nesses contextos do PICOC, para que quando utilizadas na busca dos artigos na parte do planejamento, consigam identificar artigos que serão possíveis de fornecer os resultados às perguntas de pesquisa.

##### iv. Revisões Sistemáticas Relacionadas.

Essa etapa serve para identificar se já há material que permita responder às questões de pesquisa.

Com a etapa da identificação da necessidade de revisão finalizada, o objetivo da RSL, as palavras utilizadas no PICOC e as questões de pesquisa já estarão definidos. Também é possível saber se já há uma RSL sobre o assunto do estudo. Com essas etapas consolidadas é iniciado a etapa do desenvolvimento do protocolo de revisão.

b. Desenvolvimento de um protocolo de revisão.

i. Palavras chaves

Com base no PICOC as palavras chaves que serão utilizadas na *string* de busca das fontes serão definidas. Além das palavras chaves é possível definir sinônimos das mesmas para que a busca seja melhor realizada.

ii. Seleção das fontes de busca.

Nesta etapa são definidas as fontes de busca que serão utilizadas para a escolha dos artigos. Como por exemplo a *IEEE Xplore*, *Science Direct* e *Scopus*.

iii. *Strings* de busca

Com as palavras chaves definidas e nas fontes de busca, tem que protocolar como elas serão combinadas as palavras chaves em cada fonte de busca, para então formar as *strings* que serão utilizadas. Aqui tem que ser definido os operadores lógicos para a combinação das palavras, além de informar se a busca dos artigos será nos títulos dos materiais, se será no título, resumo e palavras chaves, entre outras maneiras de buscas.

iv. Definição de critérios de inclusão e exclusão.

Nesta etapa serão definidos alguns critérios de seleção dos artigos. Os critérios podem ser com base na data que os artigos foram publicados, se o material é um estudo secundário, se o estudo se encaixa no escopo da RSL, entre outros fatores que podem ser definidos ao decorrer do desenvolvimento do projeto.

v. Perguntas de qualidade

Além dos critérios gerais de exclusão de inclusão, é importante avaliar a qualidade dos artigos primários para que a revisão sistemática da literatura do projeto fique com uma qualidade significativa. Nesta etapa deve ser formulada questões de

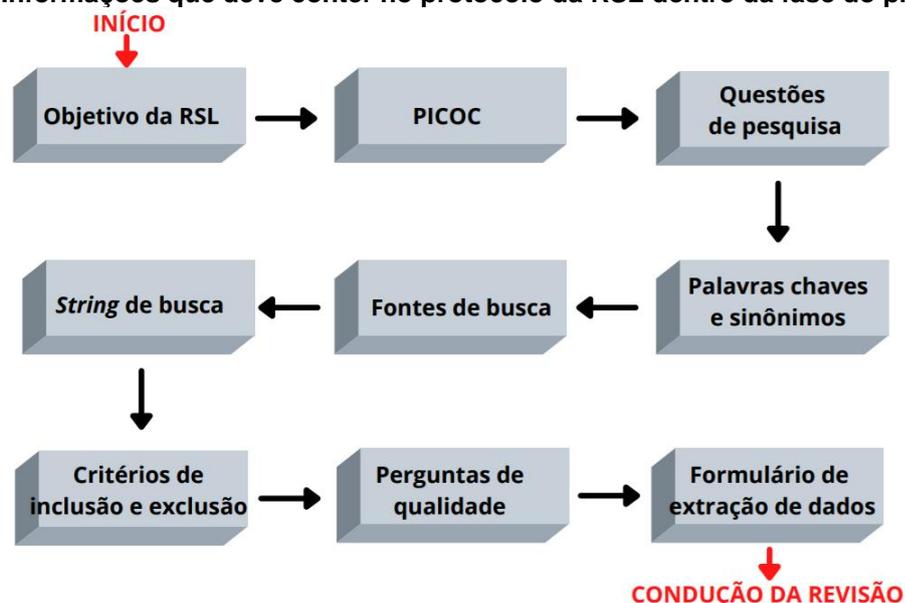
qualidade que podem ser referentes ao fator de impacto da revista ou congresso que o artigo foi publicado, se a metodologia do artigo estava clara, se o estudo aponta trabalhos futuros, entre outras questões. Para cada pergunta de qualidade deve ser atribuído pontuações para que no final haja uma classificação dos artigos.

vi. Preparando um formulário de extração de dados.

Esta etapa serve para a organização dos resultados das buscas dos materiais. Ao aplicar o processo de busca a artigos científicos, os resultados devem ser classificados e codificados. Para organizar e facilitar a análise, são especificados códigos de identificação das informações. É aconselhável fazer uso de uma ferramenta de gerenciamento de bibliografia para registrar todas as informações.

A parte do planejamento termina quando a preparação do formulário estiver finalizada. Nesta parte da revisão o protocolo já está definido, todas as etapas do planejamento devem estar protocoladas e todas as informações devem ser registradas. A Figura 12 foi desenvolvida para facilitar a visualização de todas as etapas e informações que devem conter no protocolo. Com o protocolo finalizado, começa a parte da condução da revisão.

Figura 12 - Informações que deve conter no protocolo da RSL dentro da fase do planejamento



## 2. Conduzindo a revisão

### a. Identificação de pesquisa.

Aqui serão aplicadas as *strings* nas fontes de busca que foram definidas no protocolo. Ao aplicar o processo de busca em bases de dados científicos, os resultados devem ser classificados e codificados, sendo aconselhável fazer uso de uma ferramenta de gerenciamento de bibliografia. No final desse processo, haverá todo o material que possivelmente será usado no projeto.

### b. Seleção de estudos primários.

Nesta etapa os artigos serão escolhidos seguindo os critérios de inclusão e exclusão.

### c. Avaliação da qualidade do estudo.

Nesta etapa os artigos serão analisados com base nas perguntas de qualidade, dependendo da pontuação e da análise do pesquisador, o mesmo pode excluir algum artigo devido a este fator. Todos os artigos excluídos devem ter a justificativa da exclusão.

### d. Extração e monitoramento de dados.

O objetivo desta etapa é projetar formulários de extração de dados para registrar com precisão as informações que serviram para responder os objetivos desse projeto. Uma sugestão que é mencionada no artigo é fazer formulários com: título, autores, periódico, detalhes da publicação e um espaço para notas adicionais.

### e. Síntese e monitoramento de dados.

Aqui haverá a síntese descritiva de toda a base de dados dos artigos utilizados no trabalho. Haverá uma síntese para a resposta de cada objetivo específico. Nesta etapa serão desenvolvidas análises dos dados obtidos dos materiais utilizados no decorrer do trabalho.

Com todas as etapas acima finalizadas, começa a parte do relato, esta é a parte final da RSL.

## 3. Relatando a revisão

Nesta etapa os resultados serão mencionados. Os objetivos geral e específicos serão respondidos. A conclusão e proposta de trabalhos futuros será mencionada.

Como a RSL possui muitos detalhes, para auxiliar a execução foi utilizada a ferramenta online Parsifal ®. Essa ferramenta foi desenvolvida para apoiar pesquisadores na realização de RSL no contexto da Engenharia de *Software*, ela serve para documentar todo o processo desde o planejamento até a fase de condução e análise do estudo.

Na fase do planejamento a ferramenta auxiliará com os objetivos, PICOC, questões de pesquisa, palavras de pesquisa, palavras-chave e sinônimos, seleção das fontes, os critérios de inclusão e exclusão, além de fornecer mecanismos para construir uma lista de verificação de avaliação de qualidade e formulários de extração de dados.

Na fase de condução, ela permite importar arquivos bibtex, procurar e selecionar os estudos, encontrar duplicatas entre todas as diferentes fontes, realizar a avaliação de qualidade e extrair os dados dos artigos.

Outra possibilidade que a ferramenta *online* oferece é que diferentes pesquisadores distribuídos geograficamente podem trabalhar juntos em um espaço de trabalho compartilhado, projetando o protocolo de Kitchenham (2004) e conduzindo a pesquisa. Essa integração permitiu o compartilhamento direto da pesquisa com o professor orientador, que acompanhou a aplicação do protocolo e o desenvolvimento de toda a RSL de sua orientanda.

Além do Parsifal ®, a acadêmica utilizou outro programa para organizar os artigos utilizados no trabalho, o nome deste software é Mendeley ®.

O Mendeley ® é um gerenciador de referências e uma rede social acadêmica. Ele serve para ajudar a organizar a pesquisa, além de ser uma ferramenta colaborativa pois integra pessoas *online*, o que auxilia encontrar pesquisas recentes relacionadas com o tema da pesquisa do acadêmico.

Para este estudo o Mendeley ® foi utilizado como gerenciador de referências para a parte do referencial teórico. Inicialmente a acadêmica estava utilizando pastas no seu notebook para armazenar os artigos a respeito do tema, porém o fato de estar armazenado em seu notebook fazia com que ela não tivesse acesso aos artigos quando a mesma não se encontrava com o dispositivo. Armazenando os artigos no Mendeley é possível acessar on-line os artigos em qualquer lugar ou dispositivo. O programa também oferece a possibilidade de colocar a lista de artigos no formato das referências bibliográficas, podendo escolher o estilo que o usuário deseja dentre diversos padrões. Como este trabalho está nos padrões

da ABNT, a acadêmica escolheu este padrão dentre a lista de estilos. Observando a interface do programa, nota-se que há muitas funções, porém como já estava sendo utilizado o Parsifal ® para o desenvolvimento da RSL, o Mendeley ® acabou sendo usado apenas para as funções acima descritas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão relatados todos os passos para o desenvolvimento da RSL. Primeiramente há todas as informações que formarão o protocolo desenvolvido na fase do planejamento deste estudo. Em seguida há as informações e análises dos artigos que foram encontrados com base no protocolo aplicado na fase da condução da revisão. Logo após há os resultados e discussões de cada questão de pesquisa. Finalizando o capítulo, há uma discussão e análise geral de todas as questões de pesquisa.

### 4.1 Fase do planejamento da RSL

Primeiro foi definido o objetivo geral desta pesquisa, que foi desenvolver uma revisão sistemática da literatura (RSL) a respeito do que a academia está produzindo sobre as aplicações de resposta à demanda e a infraestrutura de medição avançada em *smart grids*, para então identificar os requisitos da infraestrutura de comunicação, e se esses requisitos são compatíveis com a tecnologia de comunicação 5G. Para que esse objetivo fosse alcançado, foi definido o PICOC (População, Intervenção, Comparação, Resultado e Contexto). O Quadro 2 possui as informações do PICOC deste trabalho.

**Quadro 2 - Informações do PICOC**

<b>População</b>	Artigos científicos sobre resposta à demanda e infraestrutura de medição avançada.
<b>Intervenção</b>	A quinta geração de tecnologia celular, a 5G.
<b>Comparação</b>	Não foi identificado.
<b>Resultado</b>	O 5G é uma alternativa de tecnologia de comunicação que irá resolver os desafios da resposta à demanda e infraestrutura de medição avançada em <i>smart grids</i> .
<b>Contexto</b>	No contexto das <i>smart grids</i> .

Fonte: Autora, 2021.

A partir das PICOC, que as perguntas de pesquisa foram desenvolvidas. No total foram 4 perguntas, e para cada uma foi atribuído um código para facilitar quando a mesma fosse mencionada. O Quadro 3 contém as perguntas e seus respectivos códigos.

**Quadro 3 - Questões de pesquisa e seus códigos de identificação**

<b>Códigos das questões de pesquisa</b>	<b>Questões de pesquisa</b>
QP01	Quais são os desafios que a AMI impõe nas <i>smart grids</i> do ponto de vista da infraestrutura de comunicação?
QP02	Quais são os desafios que a resposta à demanda impõe nas <i>smart grids</i> do ponto de vista da infraestrutura de comunicação?
QP03	Quais são os desafios que a tecnologia de comunicação 5G pode solucionar especificamente na AMI?
QP04	Quais são os desafios que a tecnologia de comunicação 5G pode solucionar especificamente na resposta à demanda?

Fonte: Autora, 2021.

Com as perguntas definidas, foram definidas as palavras chaves. Vale salientar que todas as palavras chaves foram definidas na língua inglesa devido ao fato do maior número de artigos e materiais científicos serem escritos nesse idioma. O Quadro 4 contém as palavras chaves e todos os sinônimos escolhidos, essas informações servem para que posteriormente seja possível montar a *string* de busca.

**Quadro 4 - Palavras chaves e sinônimos**

<b>Palavra chave</b>	<b>Sinônimo utilizado na busca</b>
5G	Fifth Generation, New Radio
Advanced Metering Infrastructure	AMI
Demand	
Smart Grid	Smart Power Grid

Fonte: Autora, 2021.

A escolha das palavras chaves foi um processo que demandou tempo, foram feitas várias combinações até a definição delas. Devido ao fato de uma fonte de busca delimitar o uso de operadores lógicos na *string* de busca, a aplicação da resposta à demanda ficou apenas como “*Demand*”, pois foi identificado que havia variações da forma como eram escritas essa aplicação nos artigos, porém sempre havia o “*Demand*” em todas as versões.

Com as palavras chaves definidas, o método de pesquisa foi constituído em pesquisas na internet em bibliotecas digitais. As fontes de busca escolhidas foram a IEEE Xplore, o Scopus e a Science Direct. A escolha dos mesmos foi pelo fato deles serem referências de buscas em materiais científicos da área de engenharia elétrica.

Vale mencionar que foi feita a busca na fonte de ACM DL porém não foi encontrado material para ser usado no estudo.

Com as palavras chaves e as fontes de busca definidas, foi possível especificar a *string* de busca. Como comentado anteriormente, foram realizadas várias pesquisas pilotos para a definição da *string* de busca, ficando definido que a *string* de busca é uma combinação das palavras chaves e seus sinônimos juntamente com operadores lógicos, uma delimitação foi feita para que fossem buscados as palavras chaves nos títulos, resumos e palavras chaves dos artigos. Como cada fonte de busca utiliza uma forma de especificar a *string*, sendo necessário fazer o ajuste para cada, o Quadro 5 mostra como ficou a configuração da *string* em cada fonte de busca.

**Quadro 5 - Configuração da *string* em cada fonte de busca**

Fonte de busca	<i>String</i> utilizada
IEEE Xplore	((("Document title": "New Radio" OR "Abstract": "New Radio" OR "Author Keywords": "New Radio") OR ("Document title": "Fifth Generation" OR "Abstract": "Fifth Generation" OR "Author Keywords": "Fifth Generation") OR ("Document title": "5G" OR "Abstract": "5G" OR "Author Keywords": "5G")) AND (((("Document title": "smart grid" OR "Abstract": "smart grid" OR "Author Keywords": "smart grid") OR ("Document title": "Smart Power Grid" OR "Abstract": "Smart Power Grid" OR "Author Keywords": "Smart Power Grid"))) AND (((("Document title": "Demand" OR "Abstract": "Demand" OR "Author Keywords": "Demand") OR ("Document title": "AMI" OR "Abstract": "AMI" OR "Author Keywords": "AMI") OR ("Document title": "advanced Metering Infrastructure" OR "Abstract": "Advanced Metering Infrastructure" OR "Author Keywords": "Advanced Metering Infrastructure"))))
Science Direct	Title, abstract, keywords: ("New Radio" OR "Fifth Generation" OR "5G") AND ("smart grid" OR "Smart Power Grid") AND ("Demand" OR "AMI" OR "Advanced Metering Infrastructure")
Scopus	TITLE-ABS-KEY (("New Radio" OR "Fifth Generation" OR "5G") AND ("smart grid" OR "Smart Power Grid") AND ("Demand" OR "AMI" OR "Advanced Metering Infrastructure"))

Fonte: Autora, 2021.

Todas as *strings* fazem uma combinação das palavras ("New Radio" ou "Fifth Generation" ou "5G") com ("smart grid" ou "Smart Power Grid") com ("Demand" ou "AMI" ou "Advanced Metering Infrastructure") pois assim as buscas irão trazer artigos que relacionam a geração celular 5G relacionando as aplicações de resposta à demanda e AMI no contexto das *smart grids*. Com a *string* definida, os critérios de inclusão e exclusão foram definidos, o Quadro 6 contém os critérios escolhidos.

**Quadro 6 - Critérios de inclusão e exclusão**

Critério de inclusão	Critério de exclusão
Artigos que estão dentro do escopo do projeto.	Artigos que não estão no escopo do projeto.
	Capítulo de livro, index, table, e todo material que não é artigo.
	Estudos duplicados.
	Estudos secundários ou terciários.
	Não foi possível acessar o documento do artigo.

Fonte: Autora, 2021.

Definido os critérios de inclusão e exclusão, as perguntas de qualidade foram desenvolvidas. Foram feitas 6 perguntas para avaliar a qualidade dos estudos. O Quadro 7 informa quais foram as perguntas e seus respectivos códigos para identificação.

**Quadro 7 - Perguntas de qualidade e seus códigos de identificação**

<b>Códigos das questões de qualidade</b>	<b>Questões de qualidade</b>
Q01	Foi publicada em revista relevante da área (fator de impacto maior que 3)?
Q02	Esse estudo foi citado por outro autor?
Q03	A motivação estava clara?
Q04	A metodologia estava clara?
Q05	O estudo aponta trabalhos futuros?
Q06	O estudo teve suporte baseado em simulações ou procedimentos experimentais?

Fonte: Autora, 2021.

Para as questões “Q01” e “Q05” as respostas das perguntas poderiam variar entre “Sim” e “Não”. Sendo que quando “Sim” a pontuação é “1”, e quando “Não” a pontuação é “0”.

Para a questão “Q02”, as possibilidades de respostas eram “Sim, foi citado mais de 5 vezes”, “Sim, foi citado menos de 5 vezes”, “Não foi citado”. A pontuação das respostas eram “1”, “0.5” e “0”, respectivamente.

Para as questões “Q03” e “Q04” as respostas das perguntas poderiam variar entre “Sim”, “Parcialmente” e “Não”. A pontuação das respostas eram “1”, “0.5” e “0”, respectivamente.

Para a questão “Q06”, as possibilidades de respostas eram “Houve as duas”, “Houve uma das duas” e “Não houve”. A pontuação das respostas eram “1”, “0.5” e “0”, respectivamente.

Vale salientar que a escolha do fator impacto ser 3 é devido ao fato desse valor ser considerado um bom fator de impacto na área da engenharia elétrica. Além disso, o valor da quantidade de citações na resposta da questão “Q02” foi definido devido ao fato de ter estudos desde o ano de 2016, o que levou a definição das médias de citações para 5.

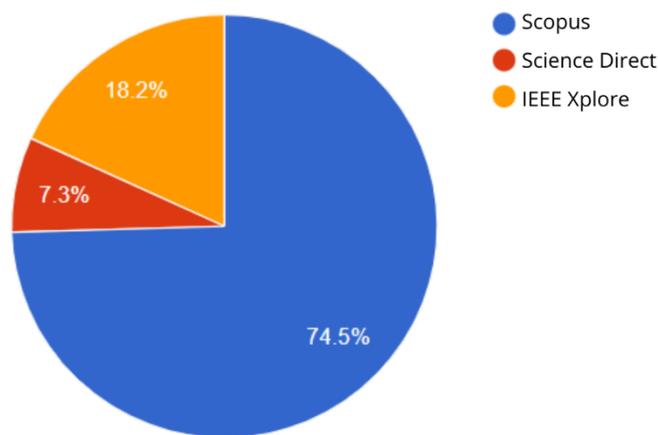
A parte do planejamento finalizou quando foi definido quais dados seriam registrados, sendo eles: título, autores, países dos pesquisadores, data da publicação,

local da publicação do artigo, DOI do artigo, número de citações, e 4 campos que são referentes às questões de pesquisa.

## 4.2 Fase da condução da RSL

Usando as *strings* mencionadas no Quadro 5, foram obtidos um total de 110 artigos. Sendo que 82 deles foram provenientes do Scopus, 20 deles provenientes do IEEE Xplore e 8 deles provenientes do Science Direct. O Gráfico 1 mostra em formato de porcentagem a quantidade de artigos por fonte de busca.

Gráfico 1 - Porcentagem de artigos por fonte de busca

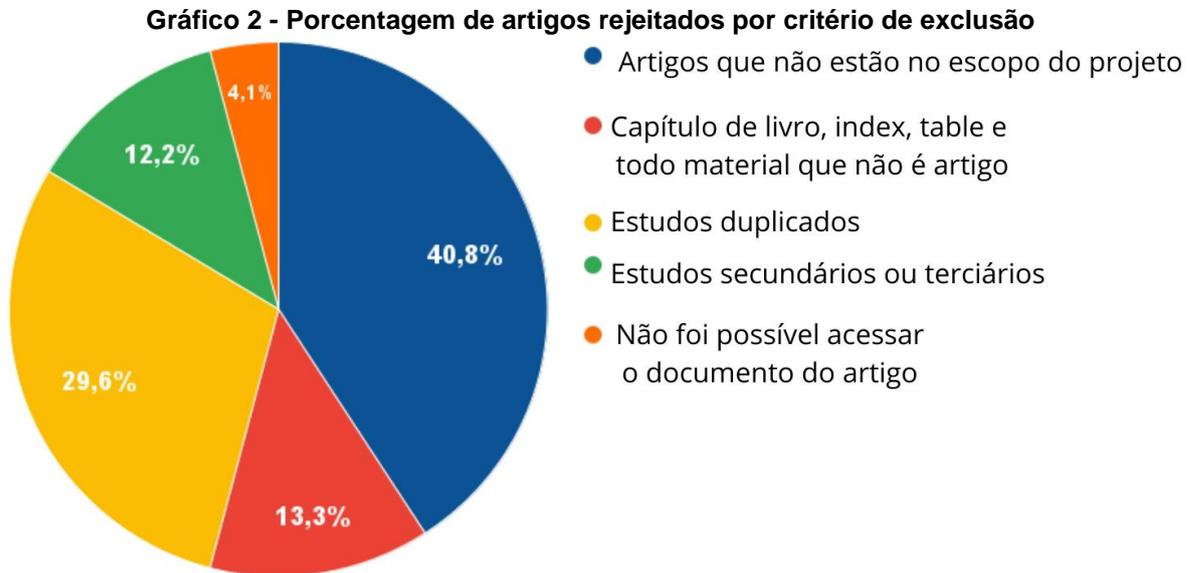


Fonte: Autora, 2021.

Na primeira análise dos 110 artigos, foi utilizado uma função do Parsifal ® que identifica os artigos duplicados e os classifica por esse critério, para que então posteriormente seja possível fazer a exclusão dos artigos por esse critério. Foram identificados 29 artigos duplicados. Após, foi feita a leitura do título, resumo e palavras chaves dos 81 artigos restantes, nessa etapa foram identificados os materiais que eram capítulos de livro, *index*, *table*, e todo material que não é artigo. Foram identificados 13 documentos que se encaixam nesse critério de exclusão. Após essa primeira análise, sobraram 68 artigos para serem lidos com mais detalhes

Após uma leitura mais detalhada dos 68 artigos, fazendo uma leitura com base na técnica de Keshav (2007), foram rejeitados 12 artigos por serem estudos secundários ou terciários, 4 artigos pois não foi possível acessar o documento e 40 artigos por não estarem no escopo do projeto. No total foram excluídos 98 artigos dos 110, sobrando 12 artigos no critério de inclusão.

O Gráfico 2 é a representação em porcentagem dos artigos excluídos pelo critério de exclusão.



Fonte: Autora, 2021.

Analisando o gráfico acima, 40,8% dos artigos excluídos foi pelo fato de não estarem no escopo do projeto, notou-se ao decorrer da leitura dos artigos que isso ocorreu pelo fato de ter sido utilizado a palavra “*Demand*” para a aplicação da resposta à demanda, como a palavra é utilizada em vários contextos, utilizar a palavra “*Demand*” foi um risco, porém foi a melhor alternativa encontrada devido a limitação de operadores lógicos nas *strings* de busca. A segunda maior porcentagem, 29,6% foi referente ao critério dos estudos duplicados, isso ocorre quando diferentes fontes de busca acabam encontrando os mesmos artigos.

Referente aos 12 artigos que foram aprovados pelo critério de inclusão, foi atribuído um código para identificação e foram sequenciados conforme o ano de publicação, ficando os artigos mais recentes no topo da lista. O Quadro 8 contém essas informações.

**Quadro 8 - Artigos aceitos na RSL e seus códigos de identificação**

<b>Códigos dos artigos aprovados</b>	<b>Título</b>
A01	SDN-NFV-Aided Edge-Cloud Interplay for 5G-Envisioned Energy Internet Ecosystem
A02	5G New Radio channel coding for messaging in Smart Grid
A03	An optimal wireless resource allocation of machine-type communications in the 5g network for situation awareness of active distribution network
A04	5G and cloudification to enhance real-time electricity consumption measuring in smart grid
A05	Fog Computing for Smart Grid Systems in the 5G Environment: Challenges and Solutions
A06	Leveraging Mobile Edge Computing on Smart Grids Using LTE Cellular Networks
A07	Priority-based uRLLC uplink resource scheduling for smart grid neighborhood area network
A08	Smart Grid: A demanding use case for 5G technologies
A09	Towards a secure network architecture for smart grids in 5G era
A10	Efficient and Privacy-Aware Power Injection over AMI and Smart Grid Slice in Future 5G Networks
A11	Efficient 5G Small Cell Planning with eMBMS for Optimal Demand Response in Smart Grids
A12	Cyclic beam switching for Smart Grid networks

Fonte: Autora, 2021.

Dentre esses 12 estudos, há propostas de novas arquiteturas de rede para se adaptar ao 5G, simulações de ambientes usando o 5G, e propostas de novos algoritmos para serem usados com a tecnologia 5G. Para ficar melhor a visualização de qual artigo se encaixa em qual tipo de estudo, o Quadro 9 foi desenvolvido.

**Quadro 9 - Tipos de estudos dos artigos aceitos**

<b>Artigos que propõem uma nova arquitetura de operação</b>	<b>Artigos que fizeram simulações</b>	<b>Artigos que desenvolveram algoritmos</b>
A01	A02	A03
A05	A04	A07
A08	A06	A10
A09	A11	
	A12	

Fonte: Autora, 2021.

Após a seleção dos estudos, começou a última etapa da condução da pesquisa, que é a parte da análise de qualidade desses artigos. As perguntas de qualidade foram aplicadas nos 12 estudos e estão descritas no Quadro 7, para demonstrar a pontuação de cada questão para cada artigo a Tabela 3 foi desenvolvida.

**Tabela 3 - Pontuação de qualidade listado por ano de publicação**

<b>Códigos dos artigos aprovados</b>	<b>Q01</b>	<b>Q02</b>	<b>Q03</b>	<b>Q04</b>	<b>Q05</b>	<b>Q06</b>	<b>Pontuação total da qualidade</b>	<b>Número de citações</b>	<b>Ano de publicação</b>
A01	1	0	1	0.5	1	0.5	4	0	2021
A02	1	0	1	1	0	0.5	3.5	0	2021
A03	0	0	1	1	0	1	3	0	2020
A04	0	0	0.5	1	0	0.5	2	0	2020
A05	1	1	1	0.5	1	0.5	5	22	2019
A06	0	0.5	1	0.5	1	0.5	3.5	2	2019
A07	0	0.5	1	0.5	0	0.5	2.5	2	2019
A08	0	1	1	0.5	1	0	3.5	8	2018
A09	0	1	1	0.5	1	0	3.5	7	2018
A10	0	1	1	1	0	0	3	17	2017
A11	1	1	1	1	0	0.5	4.5	29	2017
A12	0	0	1	0.5	0	0.5	2	0	2016

Fonte: Autora, 2021.

A Tabela 3, além de possuir as pontuações de cada questão de qualidade, também há o total da pontuação de qualidade, o número de citações que o artigo possui e o ano de publicação. Essas informações de número de citações e ano de publicação foram colocadas para que fossem identificados os artigos de 2020 e 2021, que pelo motivo de serem muito novos, talvez não tenham sido pontuados no critério Q02 por esse motivo. Como a tabela acima está listada pela ordem dos anos e pode dificultar a identificação pela classificação de qualidade, a Tabela 4 foi desenvolvida para listar os artigos pela ordem do artigo que mais pontuou.

**Tabela 4 - Pontuação de qualidade listado por maior nota de qualidade**

<b>Códigos dos artigos aprovados</b>	<b>Q01</b>	<b>Q02</b>	<b>Q03</b>	<b>Q04</b>	<b>Q05</b>	<b>Q06</b>	<b>Pontuação total da qualidade</b>	<b>Número de citações</b>	<b>Ano de publicação</b>
A05	1	1	1	0.5	1	0.5	5	22	2019
A11	1	1	1	1	0	0.5	4.5	29	2017
A01	1	0	1	0.5	1	0.5	4	0	2021
A02	1	0	1	1	0	0.5	3.5	0	2021
A06	0	0.5	1	0.5	1	0.5	3.5	2	2019
A08	0	1	1	0.5	1	0	3.5	8	2018
A09	0	1	1	0.5	1	0	3.5	7	2018
A03	0	0	1	1	0	1	3	0	2020
A10	0	1	1	1	0	0	3	17	2017
A07	0	0.5	1	0.5	0	0.5	2.5	2	2019
A04	0	0	0.5	1	0	0.5	2	0	2020
A12	0	0	1	0.5	0	0.5	2	0	2016

Fonte: Autora, 2021.

A pontuação da qualidade servirá para considerar até que ponto pode-se ficar confiante de que determinado artigo pode dar uma contribuição valiosa para a revisão. Sendo assim, na hora das considerações finais os artigos que mais pontuaram terão maior contribuição.

Antes de responder às questões de pesquisa, que são os objetivos específicos deste trabalho de conclusão, será feita uma análise de algumas informações referentes a todos os artigos.

A primeira análise é referente a data da publicação desses estudos. O Gráfico 3 foi desenvolvido para ter uma visão temporal da quantidade de artigos aceitos por ano de publicação.



Fonte: Autora, 2021.

No gráfico acima nota-se que dos 12 estudos, 7 foram publicados nos últimos 3 anos e desses 7 estudos, 2 foram publicados em 2020 e 2 foram publicados no ano deste trabalho de conclusão, em 2021. São artigos muito recentes, e isto já era de se esperar pois os parâmetros do 5G ainda estão sendo definidos, somente no início do ano de 2021 que o UIT anunciou que os *Release 15* e *16* do 3GPP foram classificados como possíveis padrões do IMT-2020. Então após a definição de todos os parâmetros dos cenários do 5G (eMBB, mMTC e uRLLC) será possível desenvolver outros estudos.

Também é interessante analisar onde esses artigos foram publicados e se foram em revistas ou conferências. Para isso, o Quadro 10 foi desenvolvido.

**Quadro 10 - Local de publicação dos artigos aceitos**

Códigos dos artigos aprovados	Onde foi publicado?
A01	IEEE Network ( Volume: 35, Issue: 1, January/February 2021)
A02	Journal Sustainable Energy, Grids and Networks - Volume 27, September 2021, 100495
A03	2020 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm)
A04	2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR)
A05	IEEE Wireless Communications
A06	2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)
A07	2019 IEEE International Conference on Energy Internet (ICEI)
A08	2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)
A09	2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)
A10	Hindawi - Mobile Information Systems
A11	IEEE Transactions on Industrial Informatics
A12	2016 8th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)

Fonte: Autora, 2021.

Analisando o Quadro 10, dos 12 estudos, 8 foram publicados em revistas ou conferências da IEEE, o que mostra que este é uma das fontes de busca que trouxe bons resultados. Dos 12 estudos, 5 foram publicados em revistas e 7 em conferências.

O Quadro 11 foi desenvolvido para ter um resumo de algumas informações dos artigos utilizados neste trabalho. Essas informações podem servir para sanar alguma curiosidade do leitor deste trabalho.

**Quadro 11 - Informações gerais dos artigos aceitos**

Códigos dos artigos aprovados	Autores	Países dos pesquisadores	Onde foi publicado?	DOI	Número de citações	Ano de publicação
A01	Sahil Garg; Kuljeet Kaur; Georges Kaddoum; Song Guo	Índia, Canadá e França	IEEE Network ( Volume: 35, Issue: 1, January/February 2021)	10.1109/MNET.011.1900602	0	2021
A02	Mirjana Maksimović; Miodrag Forcan	Bosnia e Herzegovina	Journal Sustainable Energy, Grids and Networks - Volume 27, September 2021, 100495	10.1016/j.segan.2021.100495	0	2021
A03	Qiyue Li; Haochen Tang; Wei Sun; Weitao Li; Xiaobing Xu	China	2020 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm)	10.1109/SmartGridComm47815.2020.9302944	0	2020
A04	M. Maksimović; J. Forcan; S. Jokić	Bosnia and Herzegovina	2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR)	10.1109/TELFOR51502.2020.9306518	0	2020
A05	Aparna Kumari; Sudeep Tamwar; Sudhanshu Tyagi; Neeraj Kumar; Mohammad S. Obaidat; Joel JPC Rodrigues	Índia e Brasil	IEEE Wireless Communications	10.1109/MWC.2019.1800356	22	2019
A06	Alex F R Trajano; Antonio Alex Monteiro de Sousa; Emanuel B Rodrigues; José Neuman de Souza; Arthur de Castro Callado; Emanuel F Coutinho	Brasil	2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)	10.1109/ISCC47284.2019.8969784	2	2019
A07	Liang Zhu; Lei Feng; Zhixiang Yang; Wenjing Li; Qinghai Ou	China	2019 IEEE International Conference on Energy Internet (ICEI)	10.1109/ICEI.2019.00096	2	2019
A08	Helen C. Leijou; Theodore Zahariadis; Lambros Sarakis; Eleftherios Tsampanis; Artemis Youlakis; Torsachoti E. Veivassaki	Grécia e Reino Unido	2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)	10.1109/PERCOMW.2018.8480296	8	2018
A09	Firooz B. Saghezchi; Georgios Mantas; José Ribeiro; Mohammed Al-Rawi; Shahid Mumtaz; Jonathan Rodriguez	Portugal	2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)	10.1109/IWCMC.2017.7986273	7	2018
A10	Yinghui Zhang; Jlangfan Zhao; Dong Zheng	China	Hindawi - Mobile Information Systems	10.1155/2017/3680671	17	2017
A11	Navrati Saxena; Abhishek Roy; HanSeok Kim	Coreia do Sul	IEEE Transactions on Industrial Informatics	10.1109/TII.2017.2681105	29	2017
A12	Patrick Hosein; Laurielyse Girod-Williams; Cornelius van Rensburg	Trindade e USA	2016 8th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)	10.1109/NTMS.2016.7792444	0	2016

Fonte: Autora, 2021.

Feita as considerações dos artigos em geral, a próxima etapa será para apresentar os resultados de cada questão de pesquisa, e no final há uma discussão e análise de geral de todas as questões de pesquisa.

#### 4.2.1 Resultado da questão de pesquisa QP01

QP01 - Quais são os desafios que a AMI impõe nas *smart grids* do ponto de vista da infraestrutura de comunicação?

Foram identificados os seguintes desafios da AMI no ponto de vista da infraestrutura: Confiabilidade (os artigos que mencionam esse desafio foram o A02, A03, A04, A05 e A08) segurança e privacidade (os artigos que mencionam esse desafio foram o A01, A05, A08, A09 e A10) e aumento na quantidade de dispositivos inteligentes interligados na AMI e o aumento da quantidade de dados gerados por eles (os artigos que mencionam esse desafio foram o A01, A03, A06 e A08). O requisito da latência não é um desafio para a AMI, porém ele deve ser sempre levado em consideração nas simulações e experimentos, os estudos A02, A04, A05 e A06 mostram a importância de levar em consideração esse requisito.

O estudo A12 menciona que um desafio das AMI do ponto de vista da infraestrutura de comunicação é a redução de custo da infraestrutura. A proposta do estudo tinha como objetivo reduzir o custo de uma rede AMI por meio do uso de *Cyclic Beam Switching*. A proposta pode ser aplicada a quaisquer tecnologias de rádio, ela simplesmente requer um conjunto de antenas circulares com feixes eletronicamente comutados, o que se encaixa na tecnologia 5G. No estudo, os pesquisadores assumiram que a tecnologia de *uplink* é SC-FDMA (do inglês *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*). Qualidade - 2.

##### 4.2.1.1 Discussão e análise QP01

Com o aumento da quantidade de dispositivos inteligentes, como por exemplo os medidores inteligentes, é necessário escolher tecnologias de comunicação que consigam conectar essa grande quantidade de dispositivos, além disso a tecnologia tem que ser capaz de processar os dados ao mesmo tempo em garantam a confiabilidade para que não haja perda de informações, sempre verificando se o requisito da latência foi afetado. Com o aumento dos dispositivos, consequentemente haverá mais pontos de acesso para ataques à segurança do sistema. Os dados gerados pelos medidores inteligentes e as informações dos clientes e prestadores de serviço precisam ser mantidos seguros e privados para que

a AMI funcione e aplicações como resposta à demanda possam ser colocadas em prática.

#### 4.2.2 Resultado da questão de pesquisa QP02

QP02 - Quais são os desafios que a Resposta à Demanda impõe nas *smart grids* do ponto de vista da infraestrutura de comunicação?

Assim como na aplicação da AMI, os desafios da resposta à demanda são ter uma infraestrutura de comunicação segura e que garanta a privacidade dos consumidores (os artigos que mencionam esse desafio foram o A07, A08 e A11) e confiável (os artigos que mencionam esse desafio foram o A07, A08 e A11). Porém há um desafio maior para a aplicação da resposta à demanda, que por ser uma aplicação em tempo real, ela requer uma latência muito baixa (os artigos que mencionam esse desafio foram o A07, A08 e A11) pois as trocas de informações precisam ser em tempo real. No futuro, quando aplicada em grande escala, irá demandar requisitos de comunicação extremos para os padrões de hoje. Os pesquisadores do estudo A08 mencionam que as medições e os processos computacionais deverão ser realizados com frequências muito altas e a latência ou tempo de resposta desse tipo de aplicação deverá ser menor que 5 ms.

##### 4.2.2.1 Discussão e análise QP02

Como a resposta a demanda é em tempo real, para que seja possível sua aplicação é preciso escolher as tecnologias que irão demandar menos tempo de processamento desses dados, além de escolher as codificações certas, os estudos A07 e A11 indicam o uso da codificação OFDMA (do inglês *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) para que não haja nenhum atraso ou falha dos dados.

#### 4.2.3 Resultado da questão de pesquisa QP03

QP03 - Quais são os desafios que a tecnologia de comunicação 5G pode solucionar especificamente na AMI?

O estudo A01 menciona que conseguir conectar uma grande quantidade de dispositivos inteligentes e processar os dados provenientes de aplicações em que utilizam a AMI para fazer a comunicação bidirecional é um grande desafio. Como a comunicação 5G usa as técnicas de SDN e NFV, os pesquisadores desenvolveram uma arquitetura que usa as tecnologias de SDN e NFV especialmente para o sistema do *Energy Internet* (também conhecido como *smart grid 2.0*), para se alinhar ao 5G e aproveitar os potenciais benefícios. Os pesquisadores mencionam que parâmetros de segurança e eficiência de energia serão pesquisados em trabalhos futuros. Qualidade – 4.

No estudo A02 o desafio de confiabilidade e questões de latência estavam em questão. A escolha da codificação correta é um fator que pode afetar a confiabilidade dos dados e o atraso que ela pode causar na rede. Os pesquisadores simularam se as codificações de canais que já foram testadas e validadas para o cenário eMBB eram compatíveis com os padrões das aplicações de AMI e PMU (unidade de medição fasorial ou do inglês *Phasor Measurement Unit*). O principal objetivo da pesquisa foi recomendar qual técnica de codificação 5G deve ser usada nas comunicações das aplicações de AMI e PMU. Os pesquisadores do estudo mencionam que há muitas questões em aberto relacionadas a mMTC e uRLLC, que seriam as melhores opções para o AMI e PMU, respectivamente. Que devido a isto eles utilizaram as codificações que já foram testadas e validadas para o eMBB. Os pesquisadores simularam no software Matlab se os padrões de comunicação da tecnologia 5G-NR são compatíveis com os padrões de comunicação das aplicações AMI e PMU existentes (IEEE Std 1703 e IEEE Std C37 .118.2, respectivamente). No caso da aplicação AMI, os resultados da simulação indicam que o padrão LDPC (do inglês *Low-Density Parity-Check*) do 5G teve o melhor resultado, por isso os pesquisadores recomendam o uso desse padrão para qualquer formato de mensagem. Qualidade - 3,5.

Os pesquisadores do estudo A03 desenvolveram um algoritmo que conforme aumenta a quantidade de medidores inteligentes, a confiabilidade dos dados não é tão prejudicada quando comparada com algoritmos já desenvolvidos (algoritmo *max emergency* e algoritmo *greedy*), além de conseguir ter uma eficiência energética ideal quando usado uma quantidade grande de medidores inteligentes. No estudo os pesquisadores propuseram um algoritmo de alocação de recursos sem fio ideal para perceber a consciência da situação da rede de distribuição ativa, a qual usa da

estrutura da AMI, com a escolha da tecnologia de comunicação *uplink* do tipo mMTC e uRLLC do 5G. O algoritmo teve bons resultados usando dados de amostragem normal ou de emergência (quando há alguma falha na rede). Qualidade - 3.

O estudo A04 mostra que os desafios de ter uma AMI em tempo real e confiável podem ser solucionados. Nesse estudo os pesquisadores simulam a região NAN da AMI, onde há medidores inteligentes que utilizam da tecnologia de comunicação 5G para enviar os dados ao concentrador de dados que está em formato de computação em nuvem. Foram utilizados diferentes *softwares* e configurações para a simulação. A modelagem do sinal 5G foi com codificação LDPC e codificação polar, que são modulações para o cenário do eMBB. Se usado a tecnologia de comunicação 5G, codificação LDPC, juntamente com especificações que foram usadas no estudo, os desafios de ter uma rede em tempo real e confiável serão resolvidos. Qualidade - 2.

O estudo A05 mostra que o desafio de conseguir uma latência baixa foi alcançado, possibilitando assim uma AMI em tempo real. Neste estudo os pesquisadores propõem uma estrutura AMI na região NAN, utilizando a integração das tecnologias de computação em nuvem (do inglês *Cloud Computing*) e computação em neblina (do inglês *Fog Computing*) baseadas nas 3 camadas do 5G. Os pesquisadores mencionam que usando essa arquitetura, o atraso na comunicação pode ser reduzido. Os parâmetros como tempo de resposta, atraso de transmissão e custos de gerenciamento de energia foram comparados com arquiteturas convencionais das regiões NAN das AMI, onde o primeiro cenário era a arquitetura convencional, o segundo era arquitetura baseadas em computação em nuvem e a terceira arquitetura baseada em computação em neblina e computação em nuvem. Os resultados mostram que a abordagem proposta baseada na arquitetura de três camadas habilitada para o 5G reduz a latência de ponta a ponta em comparação com as técnicas convencionais, pois fornece serviços confiáveis e eficientes para *smart grid*. Também ajuda a proteger os dados confidenciais, analisando-os localmente. No futuro, os pesquisadores explorarão os aspectos dinâmicos de comercialização de energia, privacidade e segurança da *smart grid*. Qualidade - 5.

O estudo A06 utilizou a técnica de *Mobile Edge Computing* com a tecnologia 4G para testar se os requisitos de baixa latência e alta confiabilidade, o que se mostrou válido. Porém os pesquisadores mencionam que no futuro usarão os protocolos do 5G, e preveem que pelo fato do número de antenas ser maior, haverá

melhorias nos níveis de interferência, redução da latência e aumento no número de usuários. Este trabalho apresentou uma arquitetura de sistema para uma rede de comunicação de uma *smart grid* que é capaz de fornecer uma infraestrutura confiável e que permite aos distribuidores de energia elétrica implantar aplicações da *smart grid* sobre servidores *Mobile Edge Computing* colocados em redes celulares móveis LTE (do inglês *Long Term Evolution*) tradicionais. A arquitetura permite que as aplicações sejam executadas na extremidade da rede móvel, precisamente nas estações base LTE, fornecendo comunicação de baixa latência para medidores inteligentes. O *design* também permite que as aplicações sejam executadas como sistemas distribuídos na borda, o que facilita o desenvolvimento de aplicações escalonáveis com base na arquitetura proposta. Os pesquisadores mencionam que o *Mobile Edge Computing* é adequado para tecnologias 4G e 5G. No estudo foi utilizado o 4G, porém os pesquisadores mencionam que os trabalhos futuros devem estender os experimentos para usar protocolos 5G. Com o 5G haverá mais antenas e as frequências serão mais altas, o que causará melhorias nos níveis de interferência, redução da latência e aumento no número de usuários. Qualidade - 3,5.

No estudo A08 mostra que os principais desafios que a 5G pode solucionar são referentes a segurança, privacidade, confiança e alta disponibilidade, mas não somente da AMI, mas do cenário da *smart grid* como um todo. Os pesquisadores estão propondo uma nova estrutura de software compatível com a tecnologia 5G que é especialmente adaptada para a *smart grid*. Eles propõem novos conceitos e abordagens, bem como uma estrutura arquitetônica concreta que usa a tecnologia 5G como a fonte capacitadora para as *smart grids*. Nessa arquitetura proposta será possível usar os três cenários típicos (eMBB, mMTC e uRLLC) para diferentes aplicações. Para a AMI eles mencionam que a camada mMTC do 5G é o foco da pesquisa, já para as aplicações como resposta a demanda será estudado o uRLLC. Com essa arquitetura os pesquisadores preveem que os desafios de diferentes aplicações da *smart grid* serão solucionados. A arquitetura proposta será implementada sob a estrutura da Parceria Público-Privada 5G (5G-PPP) e será financiada pela CE H2020 ICT-762013 NRG-5 (<http://www.nrg5.eu>). A estrutura completa será validada em ambiente de laboratório e em testes de vida real oferecidos pela ASM Terni (rede elétrica) e ENGIE (rede Gás / GNL). Qualidade - 3,5.

O estudo A09 menciona que o desafio da AMI do ponto de vista da infraestrutura de comunicação é a segurança da rede. O estudo já visa que será usado

a tecnologia 5G como comunicação da AMI, por esse motivo os pesquisadores propõem uma arquitetura de rede segura de forma que AMI consiga detectar ataques contra a integridade de preço ou informações de consumo trocadas entre uma concessionária e seus clientes. O principal componente da arquitetura de rede proposta é um Sistema de Detecção de Intrusão (IDS - do inglês *Intrusion Detection System*). Foi proposto um IDS no sistema de gerenciamento do cliente (camada HAN). Um IDS no concentrador de dados (camada NAN). Um IDS no MDMS (camada WAN). Qualidade - 3,5.

O estudo A10 mostra que com o algoritmo proposto, a AMI utilizando a tecnologia de comunicação 5G *network slices* consegue resolver problemas de segurança e privacidade dos usuários da AMI. Os pesquisadores propuseram um esquema de injeção de energia eficiente e com reconhecimento de privacidade (EPPI) adequado para a aplicação AMI com comunicação 5G *network slices*. No EPPI, uma nova técnica de agregação de dados, denominada *hash-then-add*, é proposta. Além de garantir a segurança e a privacidade das informações, os pesquisadores mencionam que é eficiente em termos de custo de computação e comunicação. Qualidade - 3.

#### 4.2.3.1 Discussão e análise QP03

Como há muitos estudos que respondem a QP03, a análise e discussão será dividida com base nos tipos de estudo. Primeiramente serão analisadas as simulações, segundo os algoritmos propostos e em terceiro as arquiteturas propostas. A ordem de análise de cada tipo de estudo levará em conta a qualidade dos estudos, sendo primeiro mencionado os estudos com mais pontuação e depois os com menos.

Os estudos A02, A04, foram dois estudos que utilizaram simulações para testar a tecnologia 5G em regiões NAN das AMI. O estudo A02 possui qualidade 3,5 e o A04 possui qualidade 2. Porém ambos utilizaram as modulações LDPC e codificação polar nas suas simulações, e ambos identificaram que utilizando a codificação LDPC e os parâmetros utilizados na simulação, foi possível ter uma rede confiável e a latência não foi afetada.

Os estudos que propõem novos algoritmos são A03, A10 possuem a mesma nota de qualidade, 3. Os resultados do algoritmo do estudo A03 mostram que os desafios de ter uma quantidade grande de dispositivos inteligentes, ou medidores

inteligentes, e manter a confiabilidade dos dados é garantida, claro que diante do cenário que eles criaram para a proposta do algoritmo. Já com os resultados do algoritmo do A10, os pesquisadores mencionam que além de garantir a segurança e a privacidade das informações, essa proposta é eficiente em termos de custo de computação e comunicação.

Os estudos que propõem novas arquiteturas foram A01, A05, A06, A08, A09. Esses estudos indicam o quanto a tecnologia 5G poderá ser a tecnologia de comunicação que permitirá a implantação das *smart grids* como um todo, não apenas nas aplicações de AMI e resposta à demanda. A ordem de qualidade com suas respectivas notas ficou: A05 possui qualidade 5, A01 possui qualidade 4, A06 possui qualidade 3,5, A08 possui qualidade 3,5 e A09 qualidade 3,5.

Os pesquisadores do estudo A05 propuseram uma nova arquitetura da comunicação da AMI onde fez a combinação das tecnologias de computação em nuvem e em névoa que foram baseadas na comunicação 5G. Os resultados mostram que a abordagem proposta baseada na arquitetura de três camadas habilitada para o 5G reduz a latência de ponta a ponta em comparação com as técnicas convencionais, pois fornece serviços confiáveis e eficientes para SG. Os pesquisadores também mencionam que a computação em nuvem ajuda a proteger os dados confidenciais, analisando-os localmente. Essas características são ótimas para uma AMI em tempo real. No futuro, os pesquisadores explorarão os aspectos dinâmicos de comercialização de energia, privacidade e segurança.

Os pesquisadores do estudo A01 estão reestruturando as arquiteturas de rede (HAN, NAN e WAN) inserindo as tecnologias SDN, NFV, computação em nuvem e computação de borda, que são tecnologias usadas no 5G. Utilizando a arquitetura proposta, os pesquisadores preveem que seria uma solução para a grande quantidade de dispositivos inteligentes e conseqüentemente o *big data* que será gerado e precisará ser processado.

Assim como o estudo A01, os pesquisadores do estudo A08 mencionam que a *smart grid* como um todo é um dos casos de mais complexos que o 5G poderá solucionar, e eles identificaram que era necessário propor novos conceitos, abordagens e uma arquitetura concreta que faz com que o 5G seja uma tecnologia de comunicação que capacitará o implemento das aplicações da AMI, resposta a demanda entre outras aplicações da *smart grids*. Eles preveem que fazendo essa

reestruturação para se alinhar ao 5G, os desafios referentes à segurança, privacidade, confiança e alta disponibilidade serão solucionados.

Os pesquisadores do A06 utilizaram o *Mobile Edge Computing* para diminuir a latência em um cenário que usava o 4G LTE, porém os próprios pesquisadores mencionam que já tem essa tecnologia no *network slices*. Se implantado o *Mobile Edge Computing* nas infraestruturas do 4G, as operadoras teriam que mudar toda a configuração da rede já existente, e talvez elas não vejam vantagem desse novo investimento. Além do 5G já ter essa tecnologia na sua estrutura, os pesquisadores mencionam que a tecnologia 5G terá mais antenas e as frequências serão mais altas, o que causará melhorias nos níveis de interferência e reduzirá a latência e o desafio do aumento no número de usuário seria solucionado.

Já o estudo A09 ele visa que o 5G será a tecnologia de comunicação utilizada nas AMI, por esse motivo ele já sugere uma nova arquitetura onde há Sistema de Detecção de Intrusão (IDS) espalhados em todas as regiões da AMI. Foi proposto um IDS no sistema de gerenciamento do cliente (camada HAN). Um IDS no concentrador de dados (camada NAN). Um IDS no MDMS (camada WAN). Com isso, o desafio da segurança poderá ser solucionado.

Para finalizar a análise e discussão da QP03, vale salientar que os estudos A02, A03, A07, A08 mencionam que o melhor cenário do 5G é o mMTC para a aplicação da AMI. Porém ainda há questões em aberto desse cenário, como dito pelos pesquisadores de A02, por esse motivo foram usados parâmetros do cenário eMBB quando foi necessário.

#### 4.2.4 Resultado da questão de pesquisa QP04

QP04 - Quais são os desafios que a tecnologia de comunicação 5G pode solucionar especificamente na Resposta à Demanda?

O estudo A07 propõe um esquema de agendamento de recursos dinâmico, que é baseado na prioridade do terminal do medidor inteligente e considera os serviços mais críticos e urgentes, para conseguir solucionar os desafios de latência baixa para controle em tempo real e confiabilidade. Os pesquisadores mencionam que apenas aplicações críticas relacionadas à segurança, proteção e controle de rede são suportadas pela tecnologia uRLLC. As aplicações que não exigem esses requisitos podem ser usadas com tecnologia mMTC e LTE. Os pesquisadores propuseram um

algoritmo baseado no algoritmo Proporcional Razoável. Eles fizeram algumas melhorias, pois levaram em consideração os requisitos dos serviços urgentes. Para a comunicação de dados de *uplink* foi considerada a comunicação 5G uRLLC com a tecnologia de modulação digital OFDMA. Qualidade - 2,5.

O estudo A11 mostra que com o uso da tecnologia de comunicação 5G configurada da maneira proposta e simulada, é possível solucionar os desafios como baixa latência, confiabilidade dos dados e redução do custo de produção de energia, das aplicações de resposta à demanda. Os pesquisadores propuseram soluções e mostraram através de simulações no OPNET, que quando usado a tecnologia de comunicação 5G, com configurações eMBMS e MBSFN, ambas com solução em Programação Dinâmica ou com solução Heurísticas Greedy, em aplicações de resposta à demanda. Eles também informam que utilizaram a comunicação de dados de *uplink* com o tecnologia de modulação digital OFDMA nas soluções propostas. Os resultados apontam que as estratégias propostas satisfazem a latência de rede de acesso máxima permitida de ( $\leq 12$  ms) e taxa de erro de pacote de ( $\leq 5$  %), com efeitos insignificantes na taxa de transferência de multimídia existente. Isso resulta em até 35 % de mudança na carga de energia de pico e aproximadamente 30 % reduções no custo de produção de energia. Qualidade - 4,5.

#### 4.2.4.1 Discussão e análise QP04

Como só há dois estudos para serem analisados e discutidos na QP04, o primeiro será o A11, que possui nota 4,5 e usou simulação no estudo. Em seguida será o estudo A07 que possui nota 2,5 e desenvolveu um algoritmo.

Os pesquisadores do estudo A11 fizeram uma simulação utilizando o cenário proposto com a escolha configurado com a tecnologia 5G, e a partir disso conseguiram resolver os desafios de baixa latência e confiabilidade dos dados.

Já o estudo A07 desenvolveu um algoritmo baseado no algoritmo Proporcional Razoável, a modulação digital escolhida foi a OFDMA, e os desafios de latência e confiabilidade foram solucionados.

#### 4.2.5 Discussão e análise geral das questões de pesquisa

O objetivo desta RSL foi identificar os estudos que a academia está produzindo sobre as aplicações de resposta à demanda e a infraestrutura de medição avançada em *smart grids*, para então identificar os requisitos da infraestrutura de comunicação, e se esses requisitos são compatíveis com a tecnologia de comunicação 5G.

A RSL baseou-se em 12 artigos, selecionados entre 110 estudos. O processo de seleção e análise desses estudos foram com base no método de Kitchenham (2004). Esses 12 artigos foram classificados por notas de qualidade que poderiam variar de uma escala entre 0 e 6. A nota 0 seria atribuída ao estudo que não pontuou em nenhuma questão de qualidade, e a nota 6 seria para o artigo que pontuou a nota máxima em todas as questões de qualidade, porém as notas dos 12 artigos variaram de 2 a 5 pontos. Dentre os 12 estudos foi observado que não houve muita divergência entre os estudos que pontuaram com nota 5 e 2, pois alguns tinham considerações similares e receberam notas de qualidade muito distintas. Um exemplo são os estudos A02 e A04, ambos fizeram simulações onde utilizam a mesma modulação digital (LDPC) e demais parâmetros similares, além disso indicaram que esse tipo de modulação com o 5G consegue resolver o desafio da confiabilidade sem impactar nos requisitos de latência, porém o A02 foi classificado com qualidade 3,5 e o A04 com qualidade 2. Devido a isto, foram considerados os 12 estudos na conclusão.

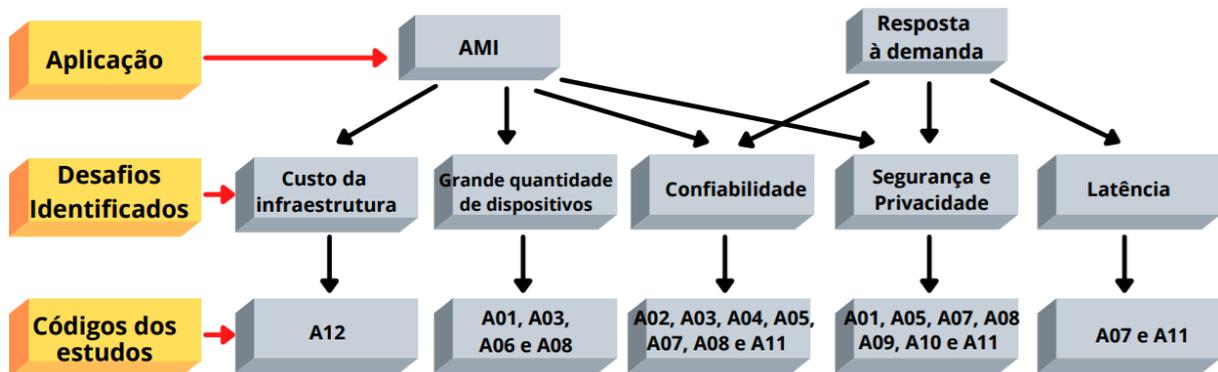
As contribuições, descobertas mais relevantes desta revisão e suas implicações para pesquisas futuras são mencionadas a seguir e foram separadas na seguinte ordem. Primeiro foi mencionado os desafios encontrados nesta RSL e que são referentes a AMI no ponto de vista de infraestrutura de comunicação. Segundo foi apontado os desafios encontrados nesta RSL referentes a resposta à demanda no ponto de vista da infraestrutura de comunicação. Na sequência há as contribuições e descobertas desta RSL a respeito da AMI e resposta à demanda com a 5G como escolha de tecnologia de comunicação. Na sequência, depois de mencionar as contribuições da RSL desenvolvida nesse estudo, há dois breves relatos sobre as revisões que foram encontradas no decorrer do desenvolvimento deste estudo, revisões essas desenvolvidas por Ahmadzadeh, Parr E Zhao (2021) e Hui et al. (2020), que não são sistemáticas e não há a informação se as mesmas seguiram um

protocolo para serem desenvolvidas. Nestes relatos também há algumas observações e comparações com o estudo desenvolvido nesta RSL.

Os desafios que foram identificados para a aplicação da infraestrutura de medição avançada do ponto de vista da infraestrutura de comunicação foram: Haverá um aumento da quantidade de dispositivos inteligentes interligados à rede, e em decorrência do aumento dos dispositivos, aumentará a quantidade de dados gerados por eles. Esses dados precisam ser processados de modo que garantam a confiabilidade, para que não haja perda de informações, e o tempo de processamento deles não pode fazer com que haja atrasos e aumente a latência, que mesmo o requisito da latência não ser um desafio para a AMI, ainda assim ela é um requisito que não pode ser afetado. Ainda com o aumento dos dispositivos inteligentes, conseqüentemente haverá mais pontos de acesso para ataques à segurança do sistema. Os dados gerados pelos medidores inteligentes e as informações dos clientes e prestadores de serviço precisam ser mantidos seguros e privados. Tudo isso buscando alternativas para reduzir os custos de implantação de toda a infraestrutura.

Já os desafios da aplicação da resposta à demanda são similares ao da infraestrutura de medição avançada afinal é a aplicação da AMI que possibilita a aplicação da resposta à demanda, onde os requisitos de segurança e confiabilidade também devem ser satisfeitos, porém devido a resposta à demanda ser uma aplicação em tempo real, a latência dessa aplicação não pode ultrapassar determinado valor. O estudo A11 menciona que os parâmetros atuais de máxima latência para aplicações em tempo real são na faixa de (12 - 20) ms. Porém devido ao aumento da quantidade de dispositivos, os parâmetros irão ficar extremos quando comparados com os de hoje. Os pesquisadores do estudo A08 mencionam que as medições e os processos computacionais deverão ser realizados em frequências muito altas e eles preveem que a latência para aplicações em tempo real deverá ser menor que 5 ms. A Figura 13 foi desenvolvida para facilitar a visualização dos desafios, no ponto de vista de infraestrutura de comunicação, identificados nas aplicações da AMI e na resposta à demanda. Na Figura 13 há as aplicações, os desafios identificados e os códigos dos artigos dos quais os desafios foram extraídos.

Figura 13 - Aplicações, desafios e estudos



Fonte: Autora, 2021.

Quando analisado os estudos afim de identificar os desafios que o 5G pode solucionar nas aplicações da AMI e resposta à demanda, pode-se observar que os pesquisadores mencionam que os cenários do 5G para a aplicação de infraestrutura de medição avançada será o mMTC (A02, A03, A07 e A08) e o cenário do 5G para a aplicação de resposta à demanda será o uRLLC (A03, A07, A08). Porém como menciona o estudo A02, ainda há algumas questões em aberto nesses dois cenários, por esse motivo algumas simulações utilizaram parâmetros que já foram definidos e testados para o eMBB.

Como ainda há questões para serem definidas do 5G, só foram encontrados estudos os quais são simulações, desenvolvimento de algoritmos e propostas de novas arquiteturas de rede de comunicação para as aplicações da *smart grid* se adaptarem ao 5G. Não foi encontrado nenhum estudo onde o 5G foi aplicado na prática. Por ter esses três diferentes tipos de estudos, as considerações a respeito dos desafios que o 5G pode solucionar nas aplicações da AMI e resposta à demanda serão separadas.

Os estudos de simulação em que envolvem a aplicação da AMI com a tecnologia 5G buscavam ver se a codificação digital LDPC, já definida para o eMBB, juntamente com as configurações da simulação, eram capazes de garantir o desafio de confiabilidade sem prejudicar o requisito da latência, o que se mostrou positivo.

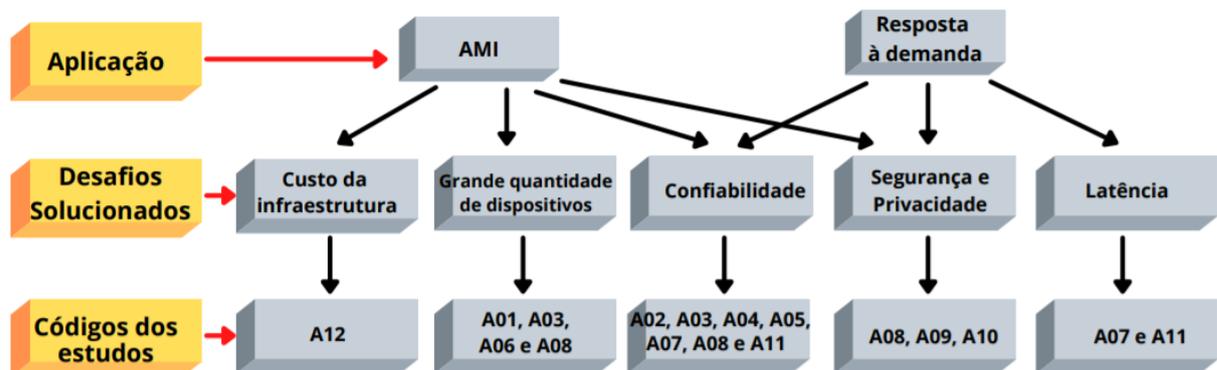
Já os algoritmos desenvolvidos pelos pesquisadores buscavam resolver os desafios da AMI de conseguir comportar uma quantidade grande de dispositivos inteligentes e manter a confiabilidade dos dados (A03), e garantir a segurança e privacidade das informações dos clientes (A10).

Quando analisadas as propostas de arquitetura, nota-se como o 5G poderá ser a tecnologia de comunicação que capacitará a implementação não apenas das aplicações da AMI e da resposta à demanda, mas da *smart grid* como um todo. Os desafios que os pesquisadores preveem ser solucionados são referentes a ter uma estrutura de comunicação capaz de suportar uma grande quantidade de dispositivos, capacidade de processar esse *big data* gerado pelos dispositivos, mantendo a latência baixa e a confiabilidade dos dados, além de ter uma rede segura e que consiga manter a privacidade de seus usuários.

Na aplicação de resposta a demanda a simulação mostrou que os desafios de latência, de ter uma comunicação em tempo real (nos padrões de hoje tem que ser no máximo de 12 ms a 20 ms) e confiável foram possíveis de serem solucionados. Já o algoritmo proposto também se mostrou eficiente em resolver esses desafios de latência e confiabilidade.

Para facilitar a visualização de quais são os principais desafios que o 5G pode solucionar nas aplicações da AMI e resposta à demanda que a Figura 14 foi desenvolvida.

Figura 14 - Resumo dos principais desafios que o 5G poderá solucionar



Fonte: Autora, 2021.

Mesmo a análise da AMI e da resposta à demanda terem sido consideradas separadas, como a resposta à demanda só é possível de ser aplicada com a AMI, alguns desafios acabam sendo os mesmos. Porém o desafio da resposta à demanda que se difere do AMI é a questão de ser uma aplicação em tempo real, onde a latência é um desafio que não pode ser impactado. Apesar dos estudos referentes à aplicação da resposta à demanda não mencionarem o fato do aumento no número de dispositivos inteligentes e os dados gerados pelos mesmos, esse é um

fator que impactará a questão da latência, como sugestão fica a observação de ser considerado esse fator na hora do desenvolvimento de novos estudos.

Para fazer uma análise e comparação dos resultados obtidos neste estudo, a seguir há um breve relato onde contém informações e considerações da acadêmica a respeito das duas revisões mencionadas na justificativa. Vale salientar que essas revisões não são sistemáticas, porém envolvem a aplicação de resposta à demanda e a tecnologia de comunicação 5G, e que foram encontradas enquanto a acadêmica realizava a seleção dos artigos na fase de inclusão e exclusão.

A primeira revisão é de autoria de Hui et al. (2020) e possui o título “*5G network-based Internet of Things for demand response in smart grid: A survey on application potential*”. Esse artigo foi publicado em janeiro de 2020 na revista *Applied Energy*. Os desafios do ponto de vista dos requisitos de comunicação da resposta à demanda, que a revisão de HUI et al. (2020) aponta são referentes a segurança, privacidade e confiabilidade. Requisitos esses que esta RSL também identificou como desafios. Referente ao uso do 5G com a aplicação da resposta à demanda, a revisão de HUI et al. (2020) apenas menciona o estudo A11 como um estudo que estava sendo desenvolvido, porém não faz nenhuma análise a respeito das contribuições do trabalho A11 para solucionar os desafios da aplicação de resposta à demanda. Analisando as referências utilizadas na revisão de Hui et al. (2020) e comparando com os artigos aceitos nesta RSL, foi identificado que a revisão de Hui et al. (2020) outra revisão só utilizou as referências A08 e A11 deste trabalho. Também foi possível identificar que haviam muitas referências que relacionam apenas questões da resposta à demanda e outras referências que mencionavam características do 5G, sem haver outras referências, além da A08 e A11, que relacionam os dois temas. Ainda nas referências da revisão de Hui et al. (2020), foi possível identificar artigos que relacionavam as aplicações que envolvem veículos elétricos e a aplicação da automação das subestações, ambas utilizando o 5G como tecnologia de comunicação no ambiente das *smart grids*.

A outra revisão é de autoria de Ahmadzadeh, Parr E Zhao (2021) e tem o título “*A Review on Communication Aspects of Demand Response Management for Future 5G IoT- Based Smart Grids*”. Essa revisão foi publicada em maio de 2021 na revista *IEEE Access*. A publicação foi na mesma época em que essa revisão sistemática começou a ser desenvolvida, porém como já mencionado, a acadêmica só a encontrou enquanto estava desenvolvendo o seu estudo. O fato de ser uma revisão recente,

ressalta como este assunto é importante e é de interesse da academia. Fazendo algumas comparações dos resultados da revisão, com os resultados obtidos nesta revisão sistemática da literatura, e observando os desafios da resposta à demanda do ponto de vista da comunicação, tanto a revisão quanto esse estudo mencionam que a segurança e a confiabilidade são desafios desta aplicação. Porém, quando a outra revisão menciona o 5G como oportunidade para resolver os desafios, ele menciona a *smart grid* como um todo. O único estudo o qual ele menciona e envolve a aplicação da resposta à demanda e o 5G é o artigo A11 deste trabalho, o qual ele pondera que o 5G pode solucionar o desafio da latência e ter uma comunicação em tempo real nas aplicações de resposta à demanda, o que este presente trabalho também menciona. Analisando as referências utilizadas na revisão de Ahmadzadeh et al. (2021) e comparando com os artigos aceitos nesta RSL, foi identificado que a revisão de Ahmadzadeh et al. (2021) só utilizou as referências A10 e A11. Similar à revisão de Hui et al. (2020), foi possível identificar que haviam muitas referências que relacionam apenas questões da resposta à demanda e outras referências que falavam apenas de características do 5G, sem haver referências, além do A10 e A11, que relacionam os dois temas. Assim como na revisão de Hui et al. (2020), nas referências do estudo foi possível identificar artigos que relacionavam as aplicações que envolvem veículos elétricos e a automação das subestações, ambas utilizando o 5G como tecnologia de comunicação no ambiente das *smart grids*.

A primeira consideração que pode ser feita a partir das comparações é que devido as outras revisões não possuírem um protocolo, não há como saber como foi feita a busca dos artigos utilizados nos outros estudos. A segunda consideração é que o estudo A11 foi o único artigo encontrado nos 3 estudos, na opinião da acadêmica é pelo fato do título possuir “*demand response*” e “5G”. Terceira consideração é que os desafios da resposta à demanda apontados pelos estudos condizem com os desafios apontados nesta revisão sistemática da literatura. A quarta consideração, que na verdade é uma opinião da autora desta RSL, é que as revisões de HUI et al. (2020) e Ahmadzadeh et al. (2021) poderiam ter considerado os artigos aceitos nesta RSL que são de 2019 para trás, além dos A08, A10 e A11, em seus referenciais teóricos, sobretudo os estudos com maior qualidade. A acadêmica expõe essa opinião principalmente pelo fato de que Hui et al. (2020) e Ahmadzadeh et al. (2021) mencionarem em suas revisões que a AMI é a aplicação que possibilita a implementação da resposta à demanda, logo os estudos sobre a AMI possuem

relações diretas a aplicação de resposta à demanda e podem trazer considerações relevantes aos estudos que envolvem a resposta à demanda. E a quinta e última consideração é que a RSL desenvolvida neste trabalho possui objetivos claros, e as revisões encontradas são mais um compilado de informações que muitas vezes falam apenas sobre a aplicação da resposta à demanda ou apenas informações sobre o 5G, sem haver muitos trabalhos que relacionam a aplicação com a tecnologia 5G.

## 5 CONCLUSÃO

Conforme Ordonez-Lucena et al (2017), a tecnologia de comunicação 5G além de possuir novas faixas de frequência, ele irá revolucionar a tecnologia celular criando uma nova arquitetura de rede que terá três cenários, o eMBB, o mMTC e o uRLLC. O fato do 5G possuir os três cenários faz com que seja uma opção de tecnologia de comunicação atraente para diversos setores da economia, como o da energia, que possuem diversas aplicações com requisitos diferentes. Os três cenários de aplicações são um dos grandes diferenciais do 5G, pois com o uso da mesma tecnologia de comunicação é possível implementar diferentes aplicações com requisitos distintos.

Já as *smarts grids* precisam de uma comunicação com fluxo bidirecional para que haja a comunicação entre os consumidores e as concessionárias de energia. Esse fluxo é provido quando a AMI é colocada em prática, a partir do momento em que há esse fluxo bidirecional é possível desenvolver mais aplicações como por exemplo a resposta à demanda. Porém essas aplicações da *smart grid* precisam de tecnologias de comunicação que forneçam determinados requisitos, só atingindo a esses determinados requisitos que as aplicações são possíveis de serem colocadas em prática.

Diante da necessidade das aplicações da *smart grid*, como a infraestrutura de medição avançada e resposta à demanda, de ter uma comunicação que atenda aos requisitos necessários, e o potencial que o 5G tem de revolucionar o desenvolvimento de setores da indústria, como o da energia, o objetivo desse estudo foi desenvolvido.

No estudo foi possível identificar que os principais desafios do ponto de vista de infraestrutura de comunicação das aplicações da AMI e da resposta à demanda são referentes a questões de segurança, confiabilidade, a capacidade de conectar uma grande quantidade de dispositivos inteligentes, como por exemplo os medidores inteligentes, e questões referentes a garantir uma baixa latência. Os desafios de segurança, privacidade e confiabilidade foram encontrados para ambas as aplicações. Já para a AMI, além desses desafios, destaca-se o desafio da capacidade de conectar uma grande quantidade de dispositivos inteligentes. E no caso da resposta à demanda, além da segurança e confiabilidade, tem o desafio da

latência, que por ser uma aplicação em tempo real, faz-se necessária uma baixa latência.

Também foi possível identificar que os melhores cenários do 5G para a AMI e resposta à demanda são o mMTC e o uRLLC, respectivamente. O mMTC é o melhor cenário para a AMI pois ele será capaz de conectar 1 milhão de dispositivos inteligentes por quilometro quadrado, e com essa característica é possível solucionar um dos principais desafios identificados nesta RSL para essa aplicação, que é como garantir a conectividade de uma grande quantidade de dispositivos inteligentes. Já o uRLLC é o melhor cenário para a aplicação da resposta à demanda pois ele é ideal para aplicações em tempo real. Esse cenário será capaz de fornecer uma latência extremamente baixa de 1ms, além de garantir uma alta confiabilidade, requisitos esses que são ideais para solucionar os principais desafios encontrados neste estudo para a aplicação da resposta à demanda.

Porém vale salientar que mesmo identificando que esses dois cenários do 5G são os melhores cenários para a AMI e resposta à demanda, ainda há algumas definições dos cenários mMTC e do uRLLC que estão sendo desenvolvidas, e por esse motivo os estudos foram com base no cenário que possui definições e testes, que é o eMBB. Além disso cabe a observação que os estudos utilizados não foram experiências reais, então não é possível afirmar que os desafios apontados pelos pesquisadores serão solucionados.

Diante dessas considerações e observações, é possível dizer que o 5G será uma opção de tecnologia de comunicação que possivelmente conseguirá resolver os desafios de conectar uma grande quantidade de dispositivos inteligentes, de ter uma alta confiabilidade, consiga fornecer uma latência baixa de 1ms, mas não somente para a AMI e para a resposta à demanda, mas para todas as aplicações da *smart grid*. Porém, para poder afirmar e confirmar, é necessário acompanhar o desenvolvimento do 5G, os estudos que estão sendo publicados, desenvolver pesquisas, e quando possível fazer os procedimentos experimentais das aplicações de infraestrutura de medição avançada e resposta à demanda utilizando o 5G como tecnologia de comunicação. Para finalizar a conclusão a autora sugere alguns trabalhos futuros.

A primeira sugestão de trabalho futuro é continuar com essa revisão sistemática da literatura. Como alguns parâmetros da tecnologia 5G estão em desenvolvimento, é interessante continuar com o estudo a fim de identificar como está

a evolução da tecnologia 5G e como ela está sendo testada ou aplicada nas aplicações de AMI e resposta à demanda em *smart grids*. Nessa continuação, a autora sugere acrescentar a palavra chave “*energy internet*” na *string* de busca, onde há a parte do “*smart grid*”. Exemplo : ...AND (“*smart grid*” OR “*Smart Power Grid*” OR “*energy internet*”) AND... . Esse termo apareceu no estudo A01 e a acadêmica não tinha conhecimento do termo antes de iniciar o estudo. Esse termo, conforme os pesquisadores do estudo A01, refere-se a *smart grid* 2.0.

A segunda sugestão de trabalho futuro é referente ao desenvolvimento de mais revisões sistemáticas da literatura com as demais aplicações da *smart grid* e o 5G como escolha de tecnologia de comunicação. Como os pesquisadores do estudo A08 mencionam, o 5G poderá ser a tecnologia de comunicação que capacitará a aplicação da *smart grid*. Por esse motivo é necessário saber se as demais aplicações também estão sendo estudadas e se os resultados são positivos. Como sugestão de aplicação a ser estudada, é o uso de UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), popularmente conhecido como drone, para auxiliar na manutenção das linhas de transmissão. Essa sugestão é pelo motivo de que há um estudo que está entre os estudos excluídos por ser um artigo que não está no escopo desta RSL. Outras aplicações que ficam como sugestão, são as que surgiram nas referências das revisões, que são as aplicações envolvendo carros elétricos e a automação de subestações.

## REFERÊNCIAS

AHMADZADEH, Sahar; PARR, Gerard; ZHAO, Wanqing. **A Review on Communication Aspects of Demand Response Management for Future 5G IoT-Based Smart Grids.** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3082430>

ALAM, Sheraz et al. **Cognitive radio based Smart Grid Communication Network.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 72, p. 535–548, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.086>

ANATEL, **Tecnologia 5G:** Saiba mais sobre a tecnologia que vai revolucionar a conectividade. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/tecnologia-5g>. Acesso em: 07 de julho de 2021.

ANEEL, **Qualidade do Serviço. Agência Nacional de Energia Elétrica.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>. Acesso em: 07 de julho de 2021.

BUDKA, Ken et al. **GERI - Bell Labs Smart Grid Research Focus: Economic Modeling, Networking, and Security & Privacy.** [s. l.], p. 208–213, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/smartgrid.2010.5622043>

CIGRE, Brasil. **Aplicação de Tecnologia 5G no Setor Elétrico.** 2021.(2h44m50s). Disponível em: <https://youtu.be/w2yMlIZU9qE?t=5821>. [WEBINAR]. Acesso em: 09 de julho de 2021.

EVANS Aicha. **Intel accelerates the future with first global 5G modem,** 2017. Disponível em: <https://newsroom.intel.com/editorials/intel-accelerates-the-future-with-first-global-5g-modem/#gs.6z6bky>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

ERICSSON. **5G wireless access:** An overview. [s. l.], n. April, p. 1–20, 2020.

FAHEEM, M. et al. **Smart grid communication and information technologies in the perspective of Industry 4.0:** Opportunities and challenges. *Computer Science Review*, [s. l.], v. 30, p. 1–30, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2018.08.001>

FORCAN, M. *et al.* 5G and Cloudification to Enhance Real-Time Electricity Consumption Measuring in Smart Grid. *In: , 2020. 2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR).* [S. l.]: IEEE, 2020. p. 1–4. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TELFOR51502.2020.9306518>

GARG, Sahil *et al.* SDN-NFV-Aided Edge-Cloud Interplay for 5G-Envisioned Energy Internet Ecosystem. **IEEE Network**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 356–364, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MNET.011.1900602>

GUNGOR. V., D. SAHIN, T. KOCAK, S. ERGUT, C. Buccella; HANCKE, C. Cecati e G. **Smart grid technologies:** Communication technologies and standards.

International Journal of Applied Engineering Research, [s. l.], v. 10, n. 20, p. 16932–16941, 2015.

GSMA. **5G Spectrum Positions**, 2021. Disponível em: <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2021/04/5G-Spectrum-Positions.pdf> Acesso em: 25 de julho de 2021.

HOSEIN, Patrick; GIROD-WILLIAMS, Laurielyse; VAN RENSBURG, Cornelius. Cyclic beam switching for Smart Grid networks. **2016 8th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security, NTMS 2016**, [s. l.], p. 16–19, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/NTMS.2016.7792444>

HORWITZ Jeremy. **The Definitive guide to 5G low mid and high band speed**, 2019. Disponível em: <https://venturebeat.com/2019/12/10/the-definitive-guide-to-5g-low-mid-and-high-band-speeds/>. Acesso em: 21 de julho de 2021.

HUI, Hongxun et al. **5G network-based Internet of Things for demand response in smart grid** : A survey on application potential. Applied Energy, [s. l.], v. 257, n. August 2019, p. 113972, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113972>

IEA, **Investment in smart grids by technology area**. IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/investment-in-smart-grids-by-technology-area-2014-2019>. Acesso em: 31 de maio de 2021.

INCIBE, **5G for the new connected industry**, 2019. Disponível em: <https://www.incibe-cert.es/en/blog/5g-new-connected-industry>. Acesso em: 23 de julho de 2021.

KABALCI, Ersan; KABALCI, Yasin. **Energy Systems in Electrical Engineering Smart Grids and Their Communication Systems**. [S. l.: s. n.], 2019. E-book.p.3-45.

KESHAV, S. **How to Read a Paper**. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 37, no. 3, p. 83–84, Julho 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1273445.1273458>>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

KITCHENHAM B. , **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Joint Technical Report, Keele, UK, 2004.

KITCHENHAM, Barbara et al. **Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review**. Information and Software Technology, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>

KUMARI, Aparna *et al.* Fog Computing for Smart Grid Systems in the 5G Environment: Challenges and Solutions. **IEEE Wireless Communications**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 47–53, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MWC.2019.1800356>

LELIGOU, Helen C *et al.* Smart Grid : a demanding use case for 5G technologies. **2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)**, [s. l.], p. 215–220, 2018.

LI, Fangxing *et al.* **Smart transmission grid: Vision and framework**. IEEE Transactions on Smart Grid, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 168–177, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2010.2053726>

LI, Z. *et al.* **Toward smart distribution management by integrating advanced metering infrastructure**. Electric Power Systems Research, [s. l.], v. 105, p. 51–56, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epr.2013.07.008>

LI, Qiyue *et al.* An optimal wireless resource allocation of machine-type communications in the 5g network for situation awareness of active distribution network. **2020 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids, SmartGridComm 2020**, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SmartGridComm47815.2020.9302944>

LOPES, Yona *et al.* **Smart Grid e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico**. [s. l.], 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.14209/sbrt.2012.188>

LOPES, Yona *et al.* **Desafios de Segurança e Confiabilidade na Comunicação para Smart Grids**. Minicursos - XVI Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais, [s. l.], n. January 2016, p. 368, 2016.

MATTOS César, CALVET Igor. **Redes privadas e a quarta revolução industrial do 5G**, 2020. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/redes-privadas-e-a-quarta-revolucao-industrial-do-5g-1> Acesso em: 25 de julho de 2021.

MEDIN M., Louie G. **The 5g Ecosystem : Risks & Opportunities For DoD**. [s. l.], n. April, 2019.

MAKSIMOVIĆ, Mirjana; FORCAN, Miodrag. 5G New Radio channel coding for messaging in Smart Grid. **Sustainable Energy, Grids and Networks**, [s. l.], v. 27, p. 100495, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2021.100495>

MISHRA, A., Tayal, H., Khan, M. A., and Raza, M. (2015). **Suitable phy layer of narrow-band power line carrier communication in emerging advanced metering infrastructure scenario**. Standards for Communications and Networking (CSCN), 2015 IEEE Conference on, pages 235–239.

N. Framework, **“NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards**, Release 3.0,” NIST Special Publication, vol. 1108R3.

NIST. **Smart Grid: A Beginner's Guide**. Nist.gov, 2019. Disponível em: <https://www.nist.gov/el/smart-grid/about-smart-grid/smart-grid-beginners-guide>. Acesso em: 31 de maio de 2021.

OLIVEIRA, Pedro Ivo de. **Leilão do 5g entenda o que vem por aí e conheça novidades** . Agência do Brasil, 2021. Disponível em:

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-04/leilao-do-5g-entenda-o-que-vem-por-ai-e-conheca-novidades>. Acesso em: 31 de maio de 2021.

ORDONEZ-LUCENA, Jose et al. **Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges**. *IEEE Communications Magazine*, [s. l.], v. 55, n. 5, p. 80–87, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600935>

PORCU, Daniele. **Smart5Grid : Demonstration of 5G solutions for SMART energy GRIDs of the future**, 2021. Em resumo. <https://smart5grid.eu/in-brief/>. Acesso em: 31 de maio de 2021.

SAGHEZCHI, Firooz B. *et al.* Towards a secure network architecture for smart grids in 5G era. *In: , 2017. 2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*. [S. l.]: IEEE, 2017. p. 121–126. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2017.7986273>

SAXENA, Navrati; ROY, Abhishek; KIM, Han Seok. Efficient 5G Small Cell Planning with eMBMS for Optimal Demand Response in Smart Grids. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1471–1481, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TII.2017.2681105>

SURANTHA, Nico et al. **SoC Design with HW / SW Co-Design Methodology for Wireless Communication System**. [s. l.], 2017.

TRAJANO, Alex F.R. *et al.* Leveraging Mobile Edge Computing on Smart Grids Using LTE Cellular Networks. **Proceedings - IEEE Symposium on Computers and Communications**, [s. l.], v. 2019-June, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISCC47284.2019.8969784>

UFF, Instituto de Comunicação. **Comunicação para Smart Grids: Oportunidades e Desafios**, 2020. Disponível em: [https://youtu.be/sYiE-UBi\\_i8](https://youtu.be/sYiE-UBi_i8). [WEBINAR]. Acesso em: 06 de julho de 2021.

USMAN, Ahmad; SHAMI, Sajjad Haider. **Evolution of communication technologies for smart grid applications**. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.002>

UNIÃO EUROPÉIA. **Smart grids and meters**. 2021. Disponível em: [https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en). Acesso em: 31 de maio de 2021.

UNESP. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos. **Tipos de revisão de literatura**. Botucatu, 2015. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Biblioteca/tipos-de-evisao-de-literatura>. Acesso em: 03 de agosto de 2021.

XIAOHU, Ge et al. **5G Ultra-Dense Cellular Networks**. [s. l.], n. February, p. 72–79, 2016.

ZHANG, Yinghui; ZHAO, Jiangfan; ZHENG, Dong. Efficient and Privacy-Aware Power Injection over AMI and Smart Grid Slice in Future 5G Networks. **Mobile Information Systems**, [s. l.], v. 2017, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2017/3680671>

ZHOU, Hong et al. **Demand-Side Energy Management: FTTH-based mode for Smart homes**. Proceedings of the American Control Conference, [s. l.], p. 1704–1709, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACC.2014.6858671>

ZHOU, Jiazhen; QINGYANG HU, Rose; QIAN, Yi. **Scalable distributed communication architectures to support advanced metering infrastructure in smart grid**. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, [s. l.], v. 23, n. 9, p. 1632–1642, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPDS.2012.53>

ZHU, Liang *et al.* Priority-based uRLLC uplink resource scheduling for smart grid neighborhood area network. **Proceedings - IEEE International Conference on Energy Internet, ICEI 2019**, [s. l.], p. 510–515, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICEI.2019.00096>

YAN, Ye et al. **A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures : Motivations , Requirements and Challenges**. [s. l.], v. 15, n. 1, p. 5–20, 2013. Disponível em: [10.1109/TII.2012.2218253](https://doi.org/10.1109/TII.2012.2218253)

3GPP. **3GPP meets IMT-2020**. The mobile Broadband Standard. 2020. Disponível em: <https://www.3gpp.org/news-events/2143-3gpp-meets-imt-2020>. Acesso em: 07 de julho de 2021.

5GARCIA. **5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios**. 5GARCIA - 5G Alliance for Connected Industries and Automation, 2019. Disponível em: [https://5g-acia.org/wp-content/uploads/2021/04/WP\\_5G\\_NPN\\_2019\\_01.pdf](https://5g-acia.org/wp-content/uploads/2021/04/WP_5G_NPN_2019_01.pdf). Acesso em: 09 de julho de 2021.