



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ

ARIF MARTINS SÍRIO

COMUNICAÇÃO DE UMA REDE MESH UTILIZANDO O PADRÃO
ZIGBEE

ARAXA - MG
2018

ARIF MARTINS SÍRIO

**COMUNICAÇÃO DE UMA REDE MESH, UTILIZANDO O PADRÃO
ZIGBEE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Me. Frederico Duarte Fagundes

**ARAXA - MG
2018**

ARIF MARTINS SÍRIO

COMUNICAÇÃO DE UMA REDE MESH UTILIZANDO O PADRÃO ZIGBEE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade de Araxá,
como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em
Engenharia de Automação Industrial.

Defesa: Araxá, 11 de dezembro de 2018.

Me. FREDERICO DUARTE FAGUNDES - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Dr. KLÉBER LOPES FONTOURA - Avaliador Titular
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Me. HERBERT RADISPIEL FILHO - Avaliador Titular
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Eng. CARLOS DIAS DA SILVA JUNIOR - Avaliador Suplente
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças para trilhar mais este caminho e conseguir chegar ao meu objetivo.

Agradeço a minha família, aos meus pais e meu irmão, que sempre me apoiaram e me incentivaram para que eu continuasse meus estudos. Principalmente aos meus pais que me deram todo apoio para que isso acontecesse.

Aos professores do CEFET-MG / Unidade Araxá, que compartilharam comigo seus conhecimentos, sem os quais não seria possível concluir o curso.

RESUMO

Esta pesquisa tem o intuito de abordar aspectos técnicos e práticos da Rede Mesh, que é uma rede dinâmica, cujo funcionamento é por meio de uma malha de comunicação cabeada ou sem fio, de múltiplos saltos, o qual possibilita aos usuários se conectarem em qualquer ponto da rede, sem ocasionar qualquer problema na mesma e de uma maneira fácil, mantendo o nível de recepção e envio de dados da melhor maneira possível em todos os pontos da rede. Foi utilizado para a comunicação da Rede Mesh o padrão Zigbee, utilizando-se os módulos de comunicação 'Xbee pro S2', que são fabricados pela Digi International. Estes fazem a interligação entre a comunicação serial, digital e analógica, de sensores, atuadores, conversores, transdutores dentre outros equipamentos que estiverem ligados nos módulos que se encontram na rede, utilizando-se como meio de acesso a eles um notebook utilizando-se de um adaptador USB com um módulo Xbee pro S2 acoplado. Através da análise dos testes realizados, pode-se verificar a Rede Mesh utilizando o padrão Zigbee, funcionando corretamente. Todos os módulos com suas respectivas entradas e saídas digitais e entradas analógicas funcionando perfeitamente, os módulos que se encontram na rede, se comunicando entre eles e a rede se rearranjando automaticamente.

Palavras-chave: Rede Mesh. Zigbee. Digi International e Xbee.

ABSTRACT

This research aims to address technical and practical aspects of Mesh Network, which is a dynamic network, whose operation is through a wired or wireless, multi-hop network, which allows users to connect at any point of the network, without causing any problems in the same and in an easy way, keeping the level of reception and sending of data in the best possible way in all points of the network. The Zigbee standard was used for Mesh Network communication using the 'Xbee pro S2' communication modules, which are manufactured by Digi International. These make the interconnection between serial, digital and analogical communication, of sensors, actuators, converters, transducers among other equipment that are connected in the modules that are in the network, using as means of access to them a notebook using a USB adapter with an attached Xbee pro S2 module. Through the analysis of the tests performed, it is possible to verify the mesh network using the Zigbee standard, working correctly. All modules with their respective digital inputs and outputs and analogue inputs work perfectly, the modules that are in the network, communicating between them and the network if rearranging automatically.

Keywords: Mesh Network. Zigbee. Digi International and Xbee.

LISTA DE SIGLAS

ANATÉL	- Agência Nacional de Telecomunicações
LAN	- <i>Local Area Network</i>
USB	- <i>Universal Serial Bus</i>
PVC	- Policloreto de Vinil
WLANs	- Rede Local Sem Fios
WMANs	- Rede Metropolitana Sem Fios
WPANs	- Rede de Área Pessoal
Tbit/s	- Terabits por Segundo
P2P	- Ponto a Ponto
DBm	- Decibel miliwatt
LQI	- Qualidade do Link
RF	- Rádio Frequência
RSSI	- <i>Received Signal Strength Indicator</i> (Indicador de Força de Sinal Recebido)
Gbps	- Gigabit por Segundo
VLC	- <i>Visible Light Communication System</i> (Sistema de Comunicação por Luz Visível)
IEEE	- <i>Institute of Electrical and Eletronics Engineers</i> (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Cabo Coaxial.	16
FIGURA 2 - Cabo Par Trançado.....	17
FIGURA 3 - RJ45/Fêmea	17
FIGURA 4 - RJ45/Macho.....	17
FIGURA 5 - Fragmentação da Fibra Óptica.	18
FIGURA 6 - Antena para transmissão de radiofrequência.....	20
FIGURA 7 - Rede ponto a ponto.	25
FIGURA 8 - Rede em barramento.....	26
FIGURA 9 - Rede em anel.....	27
FIGURA 10 - Rede em estrela.....	28
FIGURA 11 - Rede em árvore.	28
FIGURA 12 - Rede Mesh.....	31
FIGURA 13 - Coordenador da Rede.	32
FIGURA 14 - Esquema elétrico do Xbee Pro S2.....	33
FIGURA 15 - Rádio Range Test.	35
FIGURA 16 - Range Test (Dados).....	36
FIGURA 17 - Primeiro teste de transferência.	37
FIGURA 18 - Segundo teste de transferência	38
FIGURA 19 - Terceiro teste de transferência.....	39
FIGURA 20 - Teste de transferência em fase final.	40
FIGURA 21 - Teste finalizado de transferência de dados.....	40
FIGURA 22 - Módulo ZigBee Xbee S2 Pro.....	41
FIGURA 23 - Qualidade de Sinal (cor das setas de indicação).....	42
FIGURA 24 - Qualidade de sinal.	43
FIGURA 25 - Módulos em análise.....	43
FIGURA 26 - Dados do módulo.....	44
FIGURA 27 - Topologia em arvore iniciando.	44
FIGURA 28 - Rearranjamento de Rede.....	45
FIGURA 29 - Início de estruturação de Rede Mesh.	45
FIGURA 30 - A rede começando a comunicação.	46
FIGURA 31 - Rede parcialmente se comunicando.....	46
FIGURA 32 - Rede Mesh pronta.	47

FIGURA 33 - Rede Mesh toda se comunicando.....	47
FIGURA 34 - Módulos desligados.	48
FIGURA 35 - Módulos religados.....	48
FIGURA 36 - Status do Coordenador da rede.....	49
FIGURA 37 - Módulo externo.	49
FIGURA 38 - Falha na comunicação dos roteadores.	50
FIGURA 39 - Status de falha na comunicação.....	50
FIGURA 40 - Status do roteador.....	51
FIGURA 41 - Configuração Módulo.....	52
FIGURA 42 - Código para testes digitais.....	53
FIGURA 43 - Respostas aos testes digitais.	53
FIGURA 44 - Todos os módulos respondendo ao comando.....	54
FIGURA 45 - Configuração Unicast.....	55
FIGURA 46 - Montagem em laboratório.	56
FIGURA 47 - Leitura no Multímetro.	56
FIGURA 48 - Respostas analógicas.....	57
TABELA 01 - Comparação entre tecnologias.....	24
TABELA 02 - Valores analógicos levantados.....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Breve Histórico da Tecnologia da Comunicação	14
2.2	As Redes de Comunicação	15
2.2.1	INSTALAÇÕES CABEADAS	15
2.2.2	TIPOS DE REDE SEM FIO (WIRELESS)	19
2.2.3	COMPARAÇÃO ENTRE REDES CABEADAS E SEM FIO	21
2.2.4	REDE ZIGBEE	22
2.3	Tipos de Redes	24
2.4	Tipos de Topologias de Rede	24
2.4.1	TOPOLOGIA PONTO A PONTO	25
2.4.2	TOPOLOGIA DE BARRAMENTO	25
2.4.3	TOPOLOGIA EM ANEL	26
2.4.4	TOPOLOGIA TIPO ESTRELA	27
2.4.5	TOPOLOGIA EM ÁRVORE	28
2.4.6	TOPOLOGICA MESH (MALHA)	29
3	METODOLOGIA E RESULTADOS	31
3.1	Matérias e Equipamentos Utilizados	32
3.2	TESTE REALIZADOS	33
3.2.1	TESTE DE DISTÂNCIA E ROTEAMENTO	33
3.2.2	TESTES DE SAIDAS E ENTRADAS DIGITAIS	51
3.2.3	TESTES DE ENTRADAS ANÁLOGICAS	54
4	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1 INTRODUÇÃO

Através dos sistemas de telecomunicações temos transmissões de mensagens e dados a distâncias através de correntes, tensões elétricas, ondas eletromagnéticas, dentre outros meios e tem como finalidade principal, suprir as necessidades dos homens de se comunicarem a longas distâncias. O fluxo de comunicação à longa distância é responsável por uma considerável circulação de informações, sendo um mecanismo variado que se utiliza de diversas tecnologias seja analógica ou digital por cabo ou sem fio (CONCEITO. DE, 2011).

As redes industriais fazem parte dos sistemas de telecomunicação, aplicadas para a interligação de máquinas e/ou equipamentos no chão de fábrica, independente do porte da empresa. Através desta tecnologia, aquele equipamento que antes tinha seu funcionamento isolado, pode ser utilizado juntamente com outros equipamentos numa rede de comunicação, sendo ela cabeada ou sem fio (wireless).

Existem muitos tipos de redes com diferentes protocolos de comunicação, diversos padrões e variados tipos de topologias como anel, estrela, árvore, híbrida, Daisy Chain e a rede em malha, conhecida também como Rede Mesh, que será o tipo de padrão de rede utilizado no decorrer deste trabalho.

A Rede Mesh (Padrão-IEEE 802.11s) é uma rede dinâmica, composta de vários nós que se comportam como uma grande malha de comunicação de múltiplos saltos entre os dispositivos da rede, os quais são considerados os nós de rede. Estes nós podem ter funções diversas, estando eles configurados como Coordenadores, Roteadores ou End Device. Essa facilidade de comunicação da rede, é que possibilita aos usuários se conectarem em qualquer um dos seus nós, sendo ela uma rede cabeada ou sem fio. Desta maneira, os pacotes de dados podem ser transmitidos de um nó ao outro, por diferentes rotas, levando-se em conta o melhor caminho a ser seguido, principalmente com menor perda de pacotes de dados e com mais agilidade no envio da informação.

A Rede Mesh mesmo sendo uma rede sem fio tem um custo elevado por equipamento, por se tratar de uma malha de comunicação com um grau de mobilidade muito alto, necessitando-se de dispositivos mais sofisticados e equipamentos interligados. Quando utilizada em uma rede cabeada, torna-se uma opção mais cara ainda em relação à rede sem fio, devido a necessidade de uma

infraestrutura cabeada mais robusta, às vezes se tornando até mesmo inviável dependendo da utilização. Em regiões de relevo acentuado, cujo acesso a uma rede de comunicação seria mais complicado ou mesmo inviável de utilizar uma infraestrutura de rede cabeada, já estão sendo implementadas redes de malha sem fio, alimentadas por energia solar, que conseguem, com isso, levar e/ou trazer informações destas regiões, através do acesso a pacotes de dados (SARAIVA; DUTRA; ALBUQUERQUE, 2011).

O padrão Zigbee é um padrão de comunicação criado a partir da analogia entre o funcionamento de uma rede em malha e o modo como as abelhas trabalham e se locomovem. A transmissão de informações entre as abelhas com relação à localização, direção e distância de onde encontrar alimentos são passadas de abelha para abelha durante o voo; caso a informação passada a uma delas não seja absorvida, a mesma será repassada para outra abelha que está no mesmo caminho, até que essa informação chegue a todas as interessadas. De modo análogo, uma malha sem fio Zigbee, dispõe de vários caminhos possíveis entre os nós para a difusão da informação, assim sendo, é possível eliminar certas falhas na comunicação de um nó para outro, falhas comuns em sistemas de rede sem fio e que são difíceis de serem eliminadas (DIÁRIO DE NILTON FELIPE, [201-]).

A realização da comunicação de uma Rede Mesh, utilizando o padrão Zigbee, justifica-se por sua grande aplicabilidade nos ramos empresarial, rural, residencial, dentre outros, bem como por seu baixo custo tanto na implantação quanto na manutenção do sistema. Além disso, há que se considerar a facilidade na expansão da rede e seu baixo gasto de energia.

O papel fundamental da Rede Mesh, juntamente com os módulos e o padrão Zigbee, é oferecer e garantir, por intermédio de uma rede infraestruturada, a comunicação sem fio a locais onde a ligação de vários switches através de cabos seja inviável ou até mesmo impossível de ser realizada. Essas redes conseguem obter uma comunicação entre dois ou mais dispositivos, passando por diferentes rotas, conforme disponibilidade das mesmas.

Utilizando-se da tecnologia Zigbee e dos módulos 'Xbee Pro S2', nesse projeto foi desenvolvida uma aplicação da Rede Mesh. Para tanto, foi utilizado um notebook, no qual foram analisados os dados oriundos da rede, um Adaptador Xbee USB, acoplado a um módulo Xbee pro S2, com função de coordenador da rede. No notebook foi utilizado o software Digi XCTU, versão 6.4.14, fabricado pela empresa

Digi International. Os dispositivos remotos formaram com o coordenador uma rede mesh, estes dispositivos podem ser usados para monitoramento de entradas e controle de saídas, tanto digitais quanto analógicas. Levando em consideração que foi uma prática realizada com o intuito experimental, a mesma foi feita utilizando os módulos sem nenhuma adaptação para melhoria de sinal (aumento de distância de comunicação), utilizando-os com a restrição de fábrica quanto à distância de transferência e recebimento de dados.

O objetivo do projeto foi abordar aspectos físicos, estruturais, e técnicos da Rede Mesh, bem como aplicá-la, utilizando o padrão Zigbee como meio de comunicação. Para alcançar o objetivo supracitado, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Aquisição de uma comunicação entre todos os pontos da rede, com roteamento dinâmico, sem hierarquias a serem seguidas na transmissão de dados;
- Obtenção de sinais pelos módulos remotos, visando à utilização desses dados para algumas aplicações;
- Recepção e o envio de informações analógicas e digitais para qualquer nó da rede.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Breve Histórico da Tecnologia da Comunicação

O conhecimento e estudos a respeito de um modelo de comunicação vieram através de um estudioso conhecido como Graham Bell. No dia 3 de março de 1847 nasceu Alexandre Graham Bell. Em 1873, Graham Bell se tornou professor na Universidade de Boston, lecionando para o curso de Fisiologia Vocal, onde com o passar do tempo, desenvolvendo experimentos no ramo de acústica, conseguiu fabricar um modelo de comunicação, para se transmitir a voz humana eletricamente a longas distâncias. Mais tarde este conceito foi utilizado na criação do telefone. Na mesma época, Elisha Gray inventou o primeiro receptor com diafragma eletromagnético, porém não conseguiu desenvolver um modelo de comunicação eficiente antes de Bell. Assim, Bell registrou a patente de seus projetos antes de Gray, sendo, então, considerado o inventor do telefone (BRITO, 2014).

Após a invenção do telefone, ocorreu o surgimento da rede de telefonia, em meados da década de 1960. Nessa época a rede de telefonia dominante no mercado era feita através da interligação de cabos, terminais, e de um vasto conjunto de acessórios para interligar a central de origem com a central de destino que, por fim, fazia a ligação entre os seus usuários finais. Com o passar do tempo, em função da necessidade de se obter uma comunicação mais rápida e com um número maior de usuários se comunicando ao mesmo tempo em linhas separadas, foi necessário realizar melhorias no sistema de comunicação. Dentro desta realidade, por causa da evolução da tecnologia e da digitalização da rede, as empresas de telefonia passaram a utilizar a mesma infraestrutura de transmissão, porém cada qual com sua respectiva característica e gerenciamento. Com a digitalização da rede, foi possível transmitir digitalmente a voz e, até mesmo transmitir outros tipos de dados (pacotes de dados), mudando-se o tipo de rede, de analógica para digital (KLEINA, 2011).

Após a realização da digitalização de dados e da constante evolução da tecnologia, veio o surgimento da internet e outros meios de comunicação, ainda no período da guerra fria, os quais, aliás, foram muito utilizados na época. A internet permitiu aos usuários, acessarem informações e dados remotamente, a longas distâncias (PRETTO e SILVEIRA, 2008).

2.2 As Redes de Comunicação

Com o surgimento do computador e da rede de comunicação veio a necessidade de se transmitir informações de uma máquina a outra, entre diferentes usuários de diferentes localizações, efetivando a comunicação dos computadores, máquinas e/ou equipamentos através da rede, utilizando-se também da internet. Fato que facilitou o tráfego de informações entre eles, principalmente a longas distâncias.

Uma rede de comunicação se refere a uma transferência eletrônica de informação, que envolve a codificação dos dados em sinais elétricos, pneumáticos, eletromagnéticos, luminosos, entre outros. Usualmente utiliza do conceito de transmissão digital com níveis lógico baixo (0) e alto (1), que pode ser uma codificação em linha ou em bloco. O envio desta informação pode ser feito, por um meio de propagação, entre eles:

- Cabos de cobre;
- Fibra Óptica;
- Rádio frequência.
- Micro-ondas;
- Satélite;
- Laser;
- Infravermelhos;

2.2.1 INSTALAÇÕES CABEADAS

O cabo coaxial (FIG 1, p. 16) é conhecido como o primeiro cabo de transmissão. É feito de um fio de cobre rígido, envolvido por um material isolante por sua vez envolvido por outra camada de um condutor cilíndrico (malha entrelaçada). Já este é coberto com uma capa de proteção geralmente feita de material plástico flexível - como o Policloreto de Vinil (PVC), para evitar oxidação, devido à umidade. A malha entrelaçada evita indução, causada normalmente por interferências elétricas e ou magnéticas.

FIGURA 1 - Cabo Coaxial.

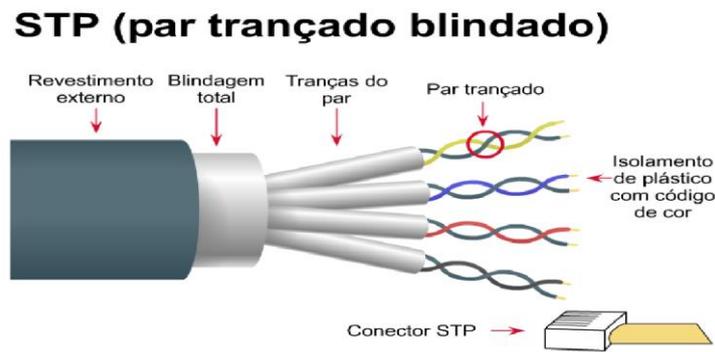


Fonte: Mercado Livre, 2018.

Na evolução dos cabeamentos de rede, o cabo coaxial foi substituído, devido à necessidade de se ter cabos com uma taxa de transmissão de dados maior e mais flexíveis, sendo o mesmo substituído pelo cabo par trançado, que tem outra característica importante que é a blindagem do mesmo, que proporciona uma proteção maior contra interferências eletromagnéticas, que podem ocasionar falhas na rede, utilizando-se de conectores específicos (FIG 3 e FIG 4, p. 17). Na rede de par trançado, quando se tem algum problema em algum ponto da rede, a mesma continua funcionando não acarretando problema em toda a rede, outra característica importante da rede feita de cabeamento de par trançado (FIG 2, p. 17) em relação à rede de cabeamento coaxial, que ao contrário, ao se ter um problema em qualquer ponto, a mesma perdia a comunicação daquele ponto da rede em questão, e dos demais nós da rede.

O cabo de par trançado é normalmente feito de pares de condutores elétricos de cobre ou de aço recoberto de cobre, os fios são recobertos de uma camada isolante, normalmente de plástico, e são enrolados em espiral em forma de trança, por este motivo o nome cabo de par trançado, com isso, reduzindo os ruídos e mantendo as propriedades elétricas do cabo por toda sua extensão. A fim de se reduzir as interferências do meio a quantidade de tranças nos fios pode variar.

FIGURA 2 - Cabo Par Trançado.



Fonte: Desamarrando a Rede ([201-]).

FIGURA 3 - RJ45/Fêmea



Fonte: FIBRACEM, s.d.(a).

FIGURA 4 - RJ45/Macho



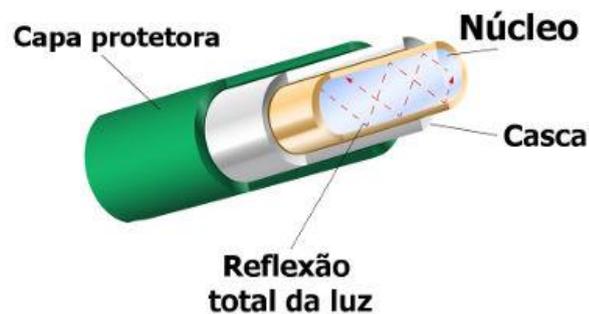
Fonte: FIBRACEM, s.d.(a).

Com cabeamento par trançado, pode-se chegar à taxa de transferência de dados de 10 Gbps (Gigabit por segundo). Os cabos de par trançado possuem flexibilidade, disponibilidade de equipamentos, documentação e mão de obra especializada (ISSUU, [201-]).

A evolução da comunicação é motivada em se conseguir um tráfego de informações ainda maiores (vídeo, áudio e transmissão de dados), em um intervalo menor de tempo, se viu na necessidade de se estudar novos tipos de cabeamentos,

para transmissões de dados a longas distâncias a uma velocidade maior. Surgiu então a Fibra Óptica, que veio em meados do ano de 1980, e que consegue transmitir dados a uma velocidade de até 255 Tb/ps (Terabits por segundo). A transmissão de dados na fibra óptica se dá por impulsos de luz, através de uma fibra de vidro flexível. Pode-se ver na FIG. 5, a vista explodida da fibra óptica (ISSUU, [201-]).

FIGURA 5 - Fragmentação da Fibra Óptica.



Fonte: BRASIL ESCOLA, 2018.

As vantagens da fibra óptica estão na imunidade a interferências eletromagnéticas, menores perdas de dados e maior taxa de download, isolamento elétrico, compacidade (dimensões dos fios, próximas de um cabelo humano), segurança (Fibras ópticas não são detectáveis por sensores, e a maior parte das tentativas de captação de dados no interior da fibra são detectáveis), baixo custo potencial e possibilidade de ampliação da banda, sem modificar a infraestrutura.

Em relação à rede cabeada, algumas vantagens delas estão na: confiabilidade, já que é uma rede com conexão estável, segura contra invasões, capaz de enviar e receber dados em uma velocidade superior à rede sem fio. Sofre também menos interferências que as redes sem fio. Por essas razões é mais utilizada em empresas que dependem de muito tráfego de informações e alta velocidade de transferência.

Dentre as desvantagens das redes cabeadas, tem-se: o custo de instalação mais elevado (comumente é necessário mudar o arranjo físico); a limitação de mobilidade dos pontos de acesso e do cabeamento; e a dificuldade para se modificar a topologia da rede, levando-se em conta que essa modificação pode depender de infraestrutura e disponibilização de pontos de acesso.

2.2.2 TIPOS DE REDE SEM FIO (WIRELESS)

São convertidas, amplificadas e tratadas convenientemente em sinais elétricos às ondas eletromagnéticas que são utilizadas na comunicação sem fio, para depois serem lançadas ao ar. De acordo com as informações codificadas, o sinal elétrico que chega à antena transmissora também é modificado, variando-se de acordo com as informações recebidas. Este sinal elétrico, por sua vez, provoca o surgimento de um campo elétrico e um campo magnético. Por serem alterados por um sinal variável, esses campos elétricos, também serão modificados, e essa variação ocorrerá de acordo com o sinal elétrico correspondente. Em sequência, um campo elétrico variável provoca o surgimento de um campo magnético também variável, e essa variação de um campo magnético faz com que ocorra o surgimento de um campo elétrico com corrente elétrica induzida. Sua propagação acontece de acordo com o sentido de propagação do vetor campo elétrico, sendo ele sempre perpendicular a do campo magnético. Sendo assim, a posição da antena transmissora e a posição da antena receptora que irá definir o posicionamento do campo elétrico no espaço, desta maneira definindo o tipo de polarização da onda, sendo ela vertical ou horizontal (VALLE, 2013).

A radiofrequência, são sinais que se propagam por um condutor cabeado, normalmente cobre e são irradiados no ar através de uma antena, utilizados nas comunicações sem fio, utilizando-se de campos eletromagnéticos. A antena utilizada na transmissão funciona como um transdutor de um sinal do meio cabeado em um sinal wireless (sem fio) e vice-versa, estes sinais são então irradiados ao ar livre, em forma de ondas eletromagnéticas, propagando-se em linha reta e em todas as direções. Por possuírem ondas eletromagnéticas essas levam energia de um ponto ao outro, permitindo-se a comunicação entre dispositivos, sendo muito utilizada nas transmissões de televisão, radio e celulares (VALLE, 2013).

Sinais de baixa frequência, como a faixa de áudio *Audio Frequency* (AF - Audio Frequência) que funciona entre 20Hz a 20KHz, tem pouco alcance numa transmissão em relação á frequências maiores, que atravessam o meio de propagação com mais facilidade e com menor dispersividade que as baixas frequências. Torna-se necessário introduzir características de altas frequências para se transmitir sinais de baixa frequência, como áudio, a grandes distâncias, para que estes sinais atravessem o meio de transmissão com facilidade. Para acabar com

este problema, a solução determinada foi gerar um sinal na escala de *Radio Frequency* (RF - Radio Frequência) e moldar (denominado modulação) este sinal com todas as características da informação a ser enviada (OFICINA DO ÁUDIO, [201-]).

Devido á necessidade de se comunicar equipamentos sem a utilização de cabeamento, surgiu-se a comunicação por micro-ondas, que são sinais de rádio de micro-ondas eletromagnéticas utilizando-se de antenas (FIG. 6) com frequências elevadas, que estão compreendidas entre 500Mhz e 300Mhz, curtos comprimentos de onda e operam em qualquer lugar. A comunicação por micro-ondas é capaz de transmitir grandes quantidades de dados, pode ser direcionada e possui preço relativamente baixo para construção, quando comparado a outros tipos de comunicação (PTCOMPUTADOR, [201-]).

FIGURA 6 - Antena para transmissão de radiofrequência.



Fonte: CAN STOCK PHOTO, 2018.

A comunicação via satélite é um tipo de transferência de dados que se utiliza também de radiofrequência, que são mais utilizados para longas distâncias, podendo ser transmitidas, por exemplo, por um satélite em órbita à aproximadamente 35.000km acima da superfície da terra com perfeição na transmissão de sinais. Nessa altitude, o satélite permanece sempre posicionado no mesmo ponto em relação à terra, embora tanto a terra como o satélite se movimentem em alta velocidade e a isso se dá o nome de "órbita geoestacionária". Os transmissores e receptores de micro-ondas são apontados diretamente para o satélite (SABER ELÉTRICA, [201-]).

Outros meios de comunicação sem fio que são muito utilizados são:

- Laser: conhecido também como *Visible Light Communication System* (VLC - Sistema de Comunicação por Luz Visível) utiliza parte do espectro da luz para transmitir dados, luz da qual é visível a olho nu. Por ser visível, este tipo de transmissão para detecção de erros devida a algum intruso na transferência de dados torna-se mais fácil, já que este tipo de interferência geraria erros na comunicação. Neste tipo de comunicação é necessário pelo menos um laser e um receptor para que seja possível o envio da informação e a recepção da mesma pelo dispositivo final (TECNOBLOG, [2012]).
- Infravermelho: é também transmitido pelo ar, e se baseia na transmissão utilizando-se da luz infravermelha. Funciona-se basicamente com o mesmo princípio de comunicação da fibra ótica, porém ao invés do feixe de luz ser transmitido dentro de uma fibra de vidro, ele é transmitido através do espaço livre por ondas luminosas, o sinal luminoso é convertido em formato digital e transmitido (MEIOS DE TRANSMISSÃO DE DADOS, [201-]).

2.2.3 COMPARAÇÃO ENTRE REDES CABEADAS E SEM FIO

Em relação à rede cabeada, algumas vantagens delas estão na: confiabilidade, já que é uma rede com conexão estável, segura contra invasões, capaz de enviar e receber dados em uma velocidade muito superior. Sofrem também menos interferências que as redes sem fio. Por essas razões é mais utilizada em empresas que dependem de muito tráfego de informações e alta velocidade de transferência.

Dentre as desvantagens das redes cabeadas, tem-se: o custo de instalação mais elevado (comumente é necessário mudar o arranjo físico); a limitação de mobilidade dos pontos de acesso e do cabeamento; e a dificuldade para se modificar a topologia da rede, levando-se em conta que essa modificação pode depender de infraestrutura e disponibilização de pontos de acesso.

Levando-se em consideração as redes sem fio, suas vantagens sobre redes cabeadas são: menores custos de infraestrutura e manutenção, devidos à mobilidade e facilidade de intervenções; facilidade de expansão; instalação mais simples e mais rápida, evitando a passagem de cabos; flexibilidade dentro da área de cobertura da mesma, sem nenhuma restrição para isso; robustez, mesmo após algum abalo sísmico a rede sem fio continuaria garantida para funcionar; e a

facilidade de se alterar a rede em diversas topologias, de uma maneira simples, para atender à determinadas aplicações.

Algumas desvantagens que se tem na rede sem fio são: custos dos equipamentos sem fio são mais altos que os das redes cabeadas; confiabilidade, os canais sem fio estão mais vulneráveis á interferências, tanto de equipamentos elétricos quanto de condições atmosféricas; os sinais eletromagnéticos podem sofrer ou causar interferências em outras redes sem fio; ondas de radio podem atrapalhar outros equipamentos que se encontram nas proximidades da rede; redes sem fio possuem maior taxa de falhas, o que reduz a qualidade de serviço; e a taxa de transferência de dados que é ainda muito menor do que as taxas de transmissão de dados da rede cabeada.

2.2.4 REDE ZIGBEE

O padrão ZigBee, foi desenvolvido por empresas de grande porte no setor de eletrônicos e automação, que formaram a *ZigBee Alliance* (Aliança ZigBee) junto ao *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* (IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos), que juntas, desenvolveram esse protocolo aberto de comunicação sem fio, através de modulação digital de sinal com particularidades que tornaram possível a utilização em diversas áreas e trabalham em conjunto para proporcionar e desenvolver tecnologias para criar um padrão de baixo consumo de energia, segurança, baixo custo, confiabilidade e baseado em uma norma aberta global com funcionamento em redes sem fios (PROJETO DE REDES, [201-]).

A mais recente e promissora dentre as redes WPAN (*Wireless Personal Area Network*) é a que usa o padrão ZigBee IEEE 802.15. A vantagem do ZigBee sobre outros protocolos é por se tratar de um protocolo totalmente aberto, é de fácil aplicação e possui custo baixo de dispositivos (DIÁRIO DE NILTON FELIPE, [201-]).

Possuem a capacidade de hospedar milhares de dispositivos numa mesma Rede, com taxas de transferências de dados, variando entre 20Kbps a 250Kbps. Por ser um protocolo destinado para aplicações industriais, a velocidade de tráfego de dados não tem tanto problema. Os módulos ZigBee, foram criados para economizar ao máximo energia, sendo assim, é possível criar dispositivos, sensores remotos, alimentados com pilhas ou baterias comuns, que durarão meses sem precisarem ser substituídos. Isso é possível devido os módulos ZigBee

entrarem num estado de dormência ou em “Sleep”, consumindo o mínimo de energia quando não estão transmitindo/recebendo dados (DIÁRIO DE NILTON FELIPE, [201-]).

É possível a solicitação de confirmação de recebimento de dados, o reenvio de dados não recebidos e o uso de diferentes caminhos para que as mensagens cheguem ao endereço final, conforme a configuração da rede e dos dispositivos (RAMOS, 2012).

As configurações dos dispositivos podem ser feitas como:

- Coordenador: é responsável pela distribuição de endereços, inicialização da rede, manutenção da Rede, reconhecimento de todos os Nós, entre outras funções podendo servir como ponte entre várias outras Redes ZigBee.
- Roteador: tem as características de um nó qualquer na Rede, mas com características extras de também exercer a função de roteador intermediário entre nós, sem precisar do Coordenador. Por intermédio dele, uma Rede ZigBee pode ser expandida, e assim ter mais alcance.
- End Device (dispositivo final): ele é o nó que consome menos energia em toda a rede, pois na maioria das vezes ele fica em espera, é onde os atuadores ou sensores serão hospedados.

Tomando-se por base o padrão ZigBee, em relação a outros padrões que se encontram no mercado. O padrão ZigBee está bem a frente dos demais na transmissão de textos como se observa na TAB 01(p. 24) que tem a relação de alguns dados das tecnologias sem fio (wireless) , IEE 802.11B, Bluetooth e ZigBee. Sendo o padrão ZigBee mais usual, para controles remotos, equipamento que se utiliza de bateria, atuadores, sensores em geral, dentre outros dispositivos que demandam baixo consumo energético. Já as tecnologias bluetooth e WI-FI são bem utilizadas para porta USB sem fio, fone de ouvido, navegação à internet, transferência de arquivos e redes de computadores respectivamente (DESMONTA & CIA, [201-]).

A utilização do ZigBee justifica-se, para aplicações que demandam uma baixa taxa de transferência de dados, mas que necessita-se de uma facilidade para comunicação e expansão. Com possibilidade de ampliação com a utilização de milhares de dispositivos numa só rede de comunicação, como podemos observar na TAB 01(p. 24).

TABELA 01 - Comparação entre tecnologias.

Característica	IEEE 802.11B	Bluetooth	ZigBee
Bateria	Horas	Dias	Anos
Complexidade	Muito complexo	Complexo	Simplex
Dispositivos	32	7	64000
Distância	100 metros	10 metros	70-300 metros
Extensão	Roaming possível	Não	Sim
Taxa Transferência	11 Mbps	1 Mbps	250 Kbps

Fonte: DESMONTA & CIA, ([201-]).

2.3 Tipos de Redes

As redes são classificadas quanto à dimensão geográfica. Uma dessas categorias é de redes locais, que são redes relacionadas a dispositivos próximos, realizadas por fio ou sem fio e chamadas de *Local Area Network* (LAN). As demais classificações de redes consistem, normalmente, na conexão entre duas ou mais redes locais, formando uma *Metropolitan Area Network* (MAN), e na conexão de várias LANs e/ou MANs, se estendendo em uma vasta área formando uma *Wide Area Network* (WAN). Há ainda a rede de área pessoal *Personal Area Network* (PAN) (KUROSE; ROSS, 2009).

A comunicação sem fio (ou wireless) já está inclusa na sociedade há anos como as redes: Redes Locais Sem Fios (WLANs), Redes Metropolitanas Sem Fios (WMANs), Rede de Área Pessoal (WPANs), todas voltadas para usuários finais, sendo eles tanto pessoas físicas, quanto pequenas, médias e grandes empresas, nas quais o objetivo é a transferência de dados e de voz em velocidades mais altas. São poucas as Redes wireless destinadas exclusivamente ao controle de dispositivos como relês, trancas eletromagnéticas, ventilação, aquecimento, motores, eletrodomésticos, brinquedos, aquisição de dados de sensores (temperatura, luminosidade, umidade, pressão, etc.). Dentre várias topologias de Redes WPAN (redes pessoais sem fio). Existentes, a mais recente e inovadora é a que utiliza o padrão ZigBee IEEE 802.15.4 (CANALTECH, [2018]).

2.4 Tipos de Topologias de Rede

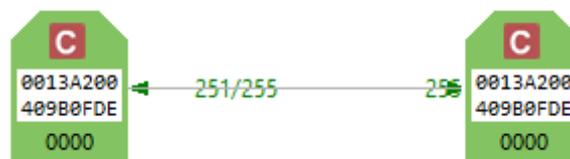
Topologia de rede se refere ao layout físico ou lógico da rede, é a forma com que a rede está organizada, sendo ele um esquema de comunicação no qual se

tem a descrição e o tipo de utilização de cada nó da rede - A função dos nós depende da topologia, sendo eles Coordenador, emissor ou receptor, os quais são interconectados entre si, através de linhas de conexão. A topologia é que descreve como os dados serão trafegados entre os nós da rede.

2.4.1 TOPOLOGIA PONTO A PONTO

A topologia ponto a ponto, mostrada na FIG. 7 é a topologia mais simples que se tem conhecimento, que conecta em uma única rede dois dispositivos. Uma conexão ponto a ponto é quando se conecta diretamente dois equipamentos sem passar por um intermediário, pode-se utilizar dela para se fazer outras topologias de rede.

FIGURA 7 - Rede ponto a ponto.



Fonte: Autoria Própria.

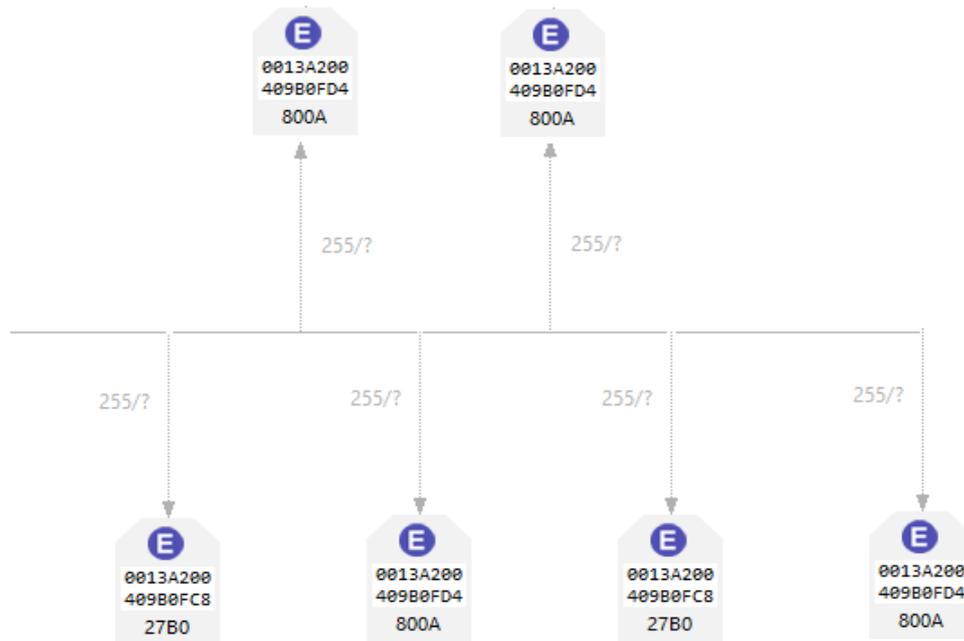
2.4.2 TOPOLOGIA DE BARRAMENTO

Na topologia de barramento, FIG. 8(p. 26), os dados são enviados de um dispositivo (computador) para cada dispositivo conectado à rede, através de um único cabo, porém se o cabo principal da rede obtiver problema, todos os dispositivos serão afetados.

Características:

- Todos os dispositivos da rede estão interligados a um único cabo;
- É uma rede fácil expansão;
- Usada mais em pequenas redes, sendo ela de fácil entendimento;
- É considerada uma rede barata, por utiliza pouco cabeamento.
- Se o cabo der problema, cai a rede inteira.

FIGURA 8 - Rede em barramento.



Fonte: Autoria Própria.

2.4.3 TOPOLOGIA EM ANEL

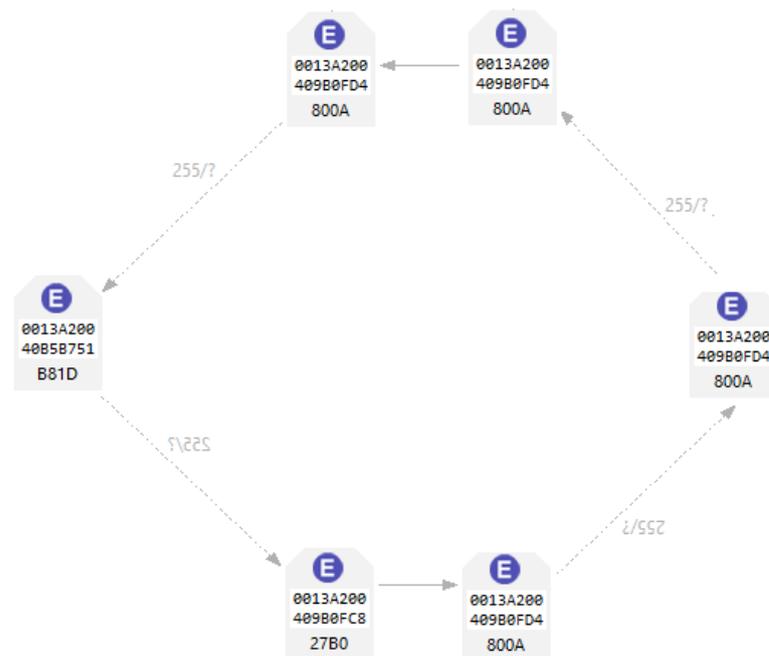
Neste tipo de topologia os dispositivos são conectados ponto a ponto, FIG. 9(P. 27) de forma que cada um deles terá dois vizinhos, e no final o último dispositivo será ligado no primeiro, de maneira que fiquem todos interligados.

A transmissão pode tanto ser unidirecional, quanto bidirecional tendo duas conexões entre cada nó de rede, com esse tipo de desempenho ela é chamada de topologia de anel duplo. Os dados são transferidos de forma sequencial, ponto a ponto, tendo eles que passar por cada nó da rede que esteja no caminho até o nó de destino.

Características:

- A transmissão de rede não é afetada pelo alto tráfego ou pela adição de mais nós, pois somente os nós com tokens podem transmitir dados;
- Barato para instalar e expandir;
- Solucionar problemas na topologia em anel é difícil;
- Ao adicionar ou excluir dispositivos, perturba a atividade da rede e a falha de um dispositivo pode causar problema em toda a rede.

FIGURA 9 - Rede em anel.



Fonte: Autoria Própria.

TOPOLOGIA TIPO ESTRELA

Nesse tipo de topologia (FIG. 10, p. 28), todos os dispositivos da rede estão conectados a um único ponto central por meio de um cabo ou através de conexões sem fio. A topologia estrela possui um coordenador, que é o ponto central da rede de onde parte as informações para os demais nós da rede.

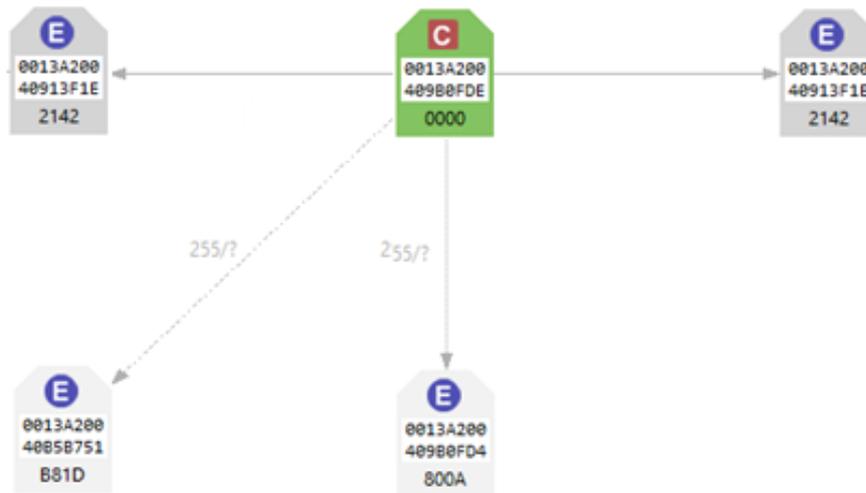
Todos os dados são retransmitidos do nó central (coordenador), desta forma, todos os demais nós são conectados a ele, facilitando com isso a não queda de toda a rede devido a um problema em um dispositivo que esteja na rede, já que o mesmo estará se comunicando apenas com o coordenador, sendo assim, somente este nó ficará fora da rede, os demais continuaram se comunicando normalmente. Porém, caso ocorra algum problema com o nó central, toda a rede será afetada.

Características:

- Cada nó tem sua própria conexão dedicada ao nó central;
- Desempenho rápido com poucos nós e baixo tráfego de rede;
- Fácil de solucionar problemas e de configurar e modificar;

- Se o nó central falhar, toda a rede será interrompida, porque todos os nós se comunicam exclusivamente com ele.

FIGURA 10 - Rede em estrela.

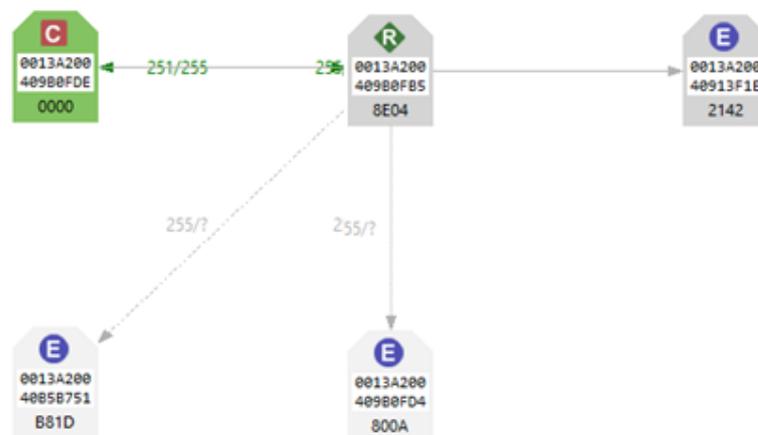


Fonte: Autoria Própria.

2.4.4 TOPOLOGIA EM ÁRVORE

Neste tipo de topologia tem-se um nó raiz e todos os outros nós estão conectados a ele, formando uma hierarquia, FIG. 11. Também é chamada topologia hierárquica. Deve pelo menos ter três níveis para a hierarquia, sendo eles: Coordenador, Roteador e End Device.

FIGURA 11 - Rede em árvore.



Fonte: Autoria Própria.

Características:

- Ideal se as estações de trabalho estiverem localizadas em grupos;
- Usado em rede de longa distância;
- Extensão de topologias de barramento e estrela;
- A expansão de nós é possível e fácil;
- Facilmente gerenciado e mantido;
- A detecção de erros é feita facilmente;
- Em redes cabeadas torna-se uma topologia cara;

2.4.5 TOPOLOGICA MESH (MALHA)

A topologia de Rede Mesh, é uma conexão ponto a ponto entre nós que permite interligar vários pontos de acesso (Access point) à rede, com isso proporcionando uma área de cobertura maior do que as demais redes comuns que se tem hoje no mercado, ela utiliza-se do padrão 802.11s para se comunicar e utiliza-se de algoritmo de roteamento dinâmico ao invés de se utilizar de algoritmos estáticos, devido a ela levar em conta a carga atual da rede para se ter um melhor desempenho (REDEMESH, [201-]).

Cada equipamento tem várias ligações, cada uma exclusiva para cada equipamento da rede. Nesta topologia, todos os nós da rede estão conectados uns aos outros e a malha de rede tem $n(n-1)/2$ canais físicos para vincular “n” dispositivos. Devido a esse motivo, de cada dispositivo se comunicar com cada outro dispositivo próximo a ele na rede, não é usual utiliza-se deste tipo de topologia com malha de rede cabeada, sendo mais usada em redes sem fio (Wireless) (REPOSITORI OBIB, [201-]).

O uso da Rede Mesh, justifica-se por ser uma topologia de rede tolerante a falhas, utilizada para aplicações que necessitem de uma área mais ampla e com vários pontos de acesso, sem perda de desempenho, já que a mesma leva em conta as melhores alternativas de rotas para tráfego de informações dentro da rede.

No caso em específico da Rede Mesh, tem-se duas técnicas para transmissão de dados:

- Roteamento
- Inundação

2.4.5.1 *Topologia Mesh: Roteamento*

Na técnica de roteamento de dados, conforme os requisitos da rede os nós da rede possuem uma lógica de transmissão que são verificados para que se consiga uma melhor maneira de se transmitir os dados entre os dispositivos que se encontram na rede. Dentre algumas das lógicas de roteamento utilizadas estão, direcionar os dados para alcançar o destino usando a menor distância e usar informações sobre os módulos que se encontram fora da área de cobertura dos demais ou até mesmo danificados. Evita-se com isso perda de tempo com varredura e atrasos no tráfego de informações, além de permitir criar uma lógica eficiente de roteamento, para reconfigurar os nós que se encontram com falha, fazendo com que a rede funcione ainda melhor.

2.4.5.2 *Topologia MESH: inundação*

Na inundação, os dados são transmitidos para todos os nós da rede, sem a presença de nenhuma lógica de roteamento tendo a informação inserida na rede por Broadcast. Neste tipo de configuração a rede é robusta e é pouco provável que ela perca os dados, porém nessas configurações, ela pode receber uma carga indesejada de dados e com isso ocasionando a queda de desempenho da rede. Na FIG.12 a Rede Mesh, está exemplificada com inundação, todos os módulos estão recebendo os dados.

Já na topologia de Malha Parcial, alguns dos dispositivos da rede são conectados da mesma maneira que a topologia de malha, mas alguns em determinada parte do sistema estão conectados apenas a dois ou três dispositivos.

Na topologia de Malha Completa, cada um dos nós ou dispositivos estão conectados entre si, representada na FIG.12(p. 31).

Recursos da topologia de malha:

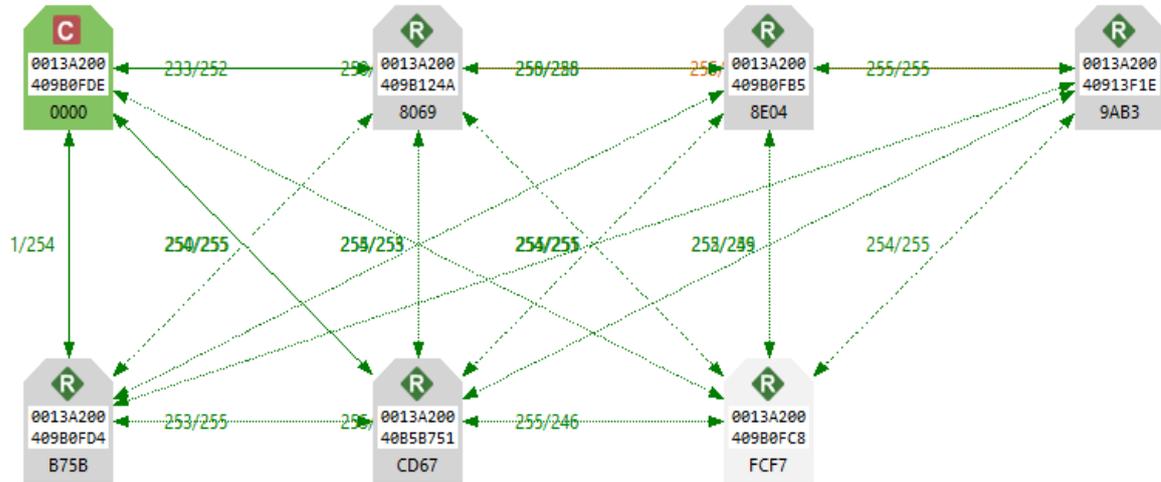
- Totalmente conectado;
- Robusto;
- Não flexível.

Características:

- Cada conexão pode carregar sua própria carga de dados;
- É robusto e a falha é diagnosticada facilmente;

- Fornece segurança e privacidade;
- Instalação e configuração são difíceis e custo de cabeamento é maior.

FIGURA 12 - Rede Mesh.



Fonte: Autoria Própria.

3 METODOLOGIA E RESULTADOS

Após a realização da pesquisa teórica e com base no conhecimento prático do assunto, efetivou-se a experimentação em quatro partes: a primeira parte consistiu em montar o circuito para alimentação dos módulos externos e comunicar os mesmos com o notebook através de um dispositivo, Xbee USB Explorer Adapter (FIG. 13, p. 33) ligado interligado a ele um módulo 'Xbee por S2' que foi ligado o mesmo no notebook por meio da entrada *Universal Serial Bus* (USB); a segunda parte foi realizada a comunicação em Rede Mesh entre as os módulos, enviando e recebendo dados; a terceira parte foi feita em laboratório enviando e recebendo sinais analógicos e digitais entre os módulos 'Xbee por S2' e a quarta e última parte, a obtenção e a análise dos dados oriundos de cada módulo. Na sequência, estão listados alguns dos materiais que foram utilizados no decorrer do trabalho.

3.1 Materiais e Equipamentos Utilizados

1x XBee USB Explorer Adaptador (FIG. 13, p. 33)

1x Cabo extensor USB

2x Base adaptadora para Xbee para fixação em protobord e com USB

4x Base adaptadora para Xbee para fixação em protobord

6x XBee Pro S2

1x XBee Pro S2B

3x Resistor 220 Ω

1x LM35

1x Potenciômetros 10K Ω

6x Baterias de 9v

1x Multímetro

1x Ferro de Solda

1x Fonte regulável de bancada

3x Placas de Peltier

2x Protoboard

1x Calculadora

FIGURA 13 - Coordenador da Rede.



Fonte: Autoria Própria.

3.2 TESTE REALIZADOS

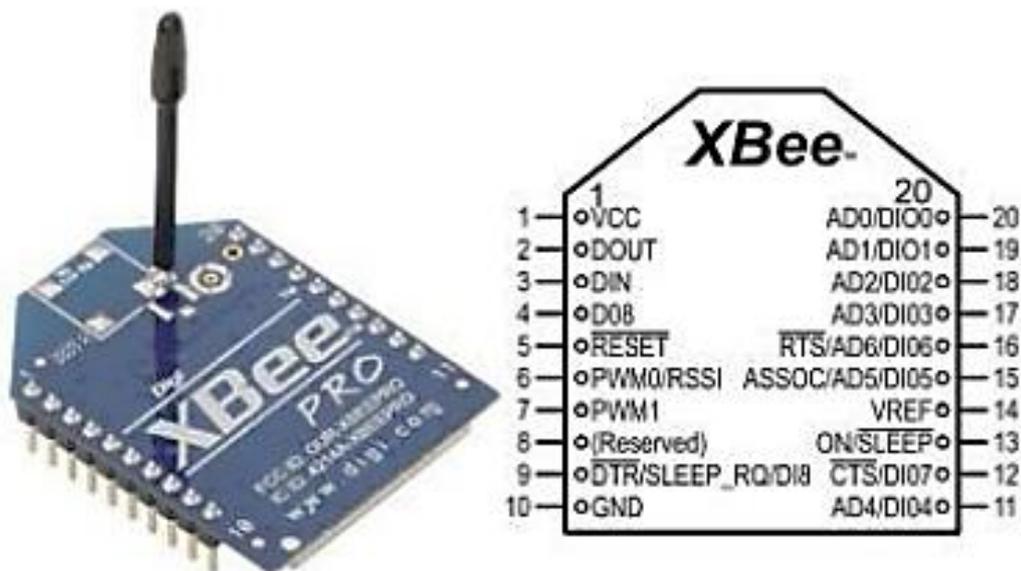
Os testes são apresentados nesta seção e, à medida que aparecem no texto, seus resultados são discutidos e analisados.

3.2.1 TESTE DE DISTÂNCIA E ROTEAMENTO

Para todos os testes realizados, foi utilizado o XCTU, Software da Digi Internacional, que é o mesmo fabricante do módulo Xbee Pro S2. É um aplicativo gratuito, com uma multi-plataforma compatível com Windows e outros Sistemas Operacionais, muito utilizado para enviar comandos de configuração, fazer atualizações, backup e utilizado também como ferramenta de testes adicionais para seu módulo. Pode-se visualizar através dele a formação da rede graficamente, para configuração e manipulação da arquitetura de rede, dentre outras várias utilizações, algumas das quais foram utilizadas nos testes.

Para a alimentação dos módulos e para realização dos testes de entradas e saídas digitais e das entradas analógicas, foi utilizado como referência o esquema elétrico do Xbee Pro S2 da FIG. 14.

FIGURA 14 - Esquema elétrico do Xbee Pro S2



Fonte: SPSWARMUAV, ([201-])

3.2.1.1 *Teste de Distância*

Radio Range Test é uma ferramenta do Software XCTU, o mesmo esta exemplificado na FIG. 15 (p. 35). O utilitário Range Test, testa a faixa real de RF(Radio Frequência) e vincula a qualidade desta frequência entre dois módulos na mesma rede. Para realizar o teste de alcance, precisa-se ter um módulo local conectado ao notebook e adicionado ao XCTU, intalado no notebook, e um dispositivo remoto na mesma rede que o dispositivo local. Essa é uma ferramenta muito importante e que foi muito utilizada, para monitoração da distância máxima entre os módulos de comunicação e para testes da efetiva taxa de envios e recebimentos de pacotes de dados, realizados entre os módulos que estão sendo submetidos ao teste em questão, juntamente com o coordenador da rede.

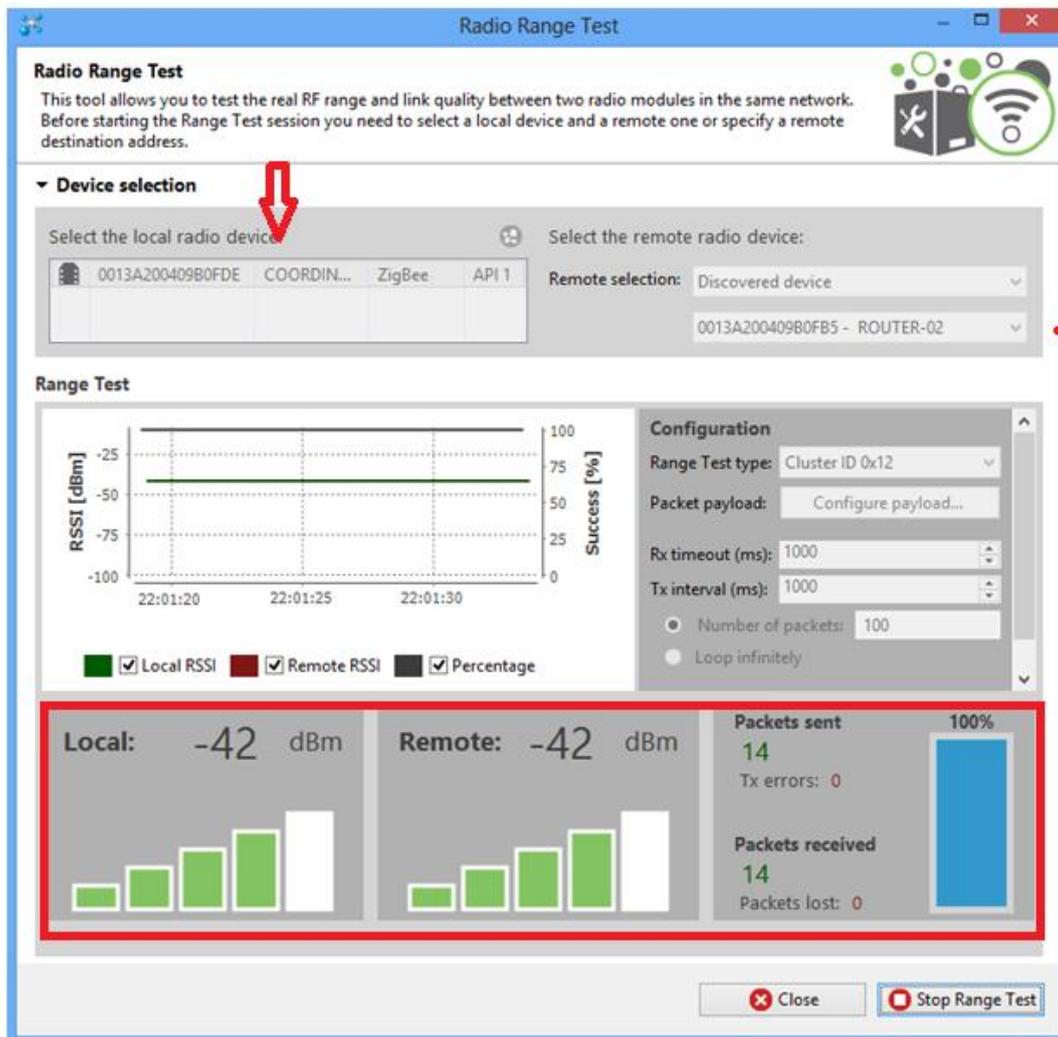
Em relação a está distância dada, pode-se verificar através da potência de sinal dada em Decibel Miliwatt (DBm), que é uma medida que tem uma relação com o nível de potência em decibéis, em relação a um nível de referência que neste caso em questão é dada em 1mw (milliwatt), medida da qual é muita utilizada em sistemas de telecomunicações para medir distâncias entre módulos ou nós presentes nas redes de comunicação (PORTAL SÃO FRANCISCO, ([2018])).

Pode-se parametrizar o teste antes de ser inicializado levando-se em conta: *Rx Timeout* (ms): antes de considerar a perca de um pacote de dado, este parametro é que determina o tempo máximo em milissegundos para aguardar a resposta do dispositivo remoto; *Tx interval* (ms): é o tempo mínimo em milissegundos que o módulo irá aguardar antes de enviar um novo pacote para o dispositivo remoto; número de pacotes: está opção deve ser marcada para se determinar o número de pacotes a serem enviados em cada teste realizado; *Loop infinitely*: marque esta opção apenas se quiser que o envio de pacotes de dados seja infinita ou até que seja interrompida manualmente a sessão de testes; janela de tempo: utilizada para configurar a janela de tempo visível dos dados de RSSI medidos pelo teste de intervalo (DIGI, [201-]).

Neste exemplo da FIG. 15(p. 35), o “Router 02” que está sendo testado juntamente com o coodenador (FIG. 13, p. 32) que está conectado ao notebook, estão mandando e recebendo a resposta um do outro pela rede, tendo uma relação de distância dada em “DBm” e de trafego dado pelo número de pacotes de dados enviados e não enviados. Pode-se observar pelo gráfico representado pelos valores

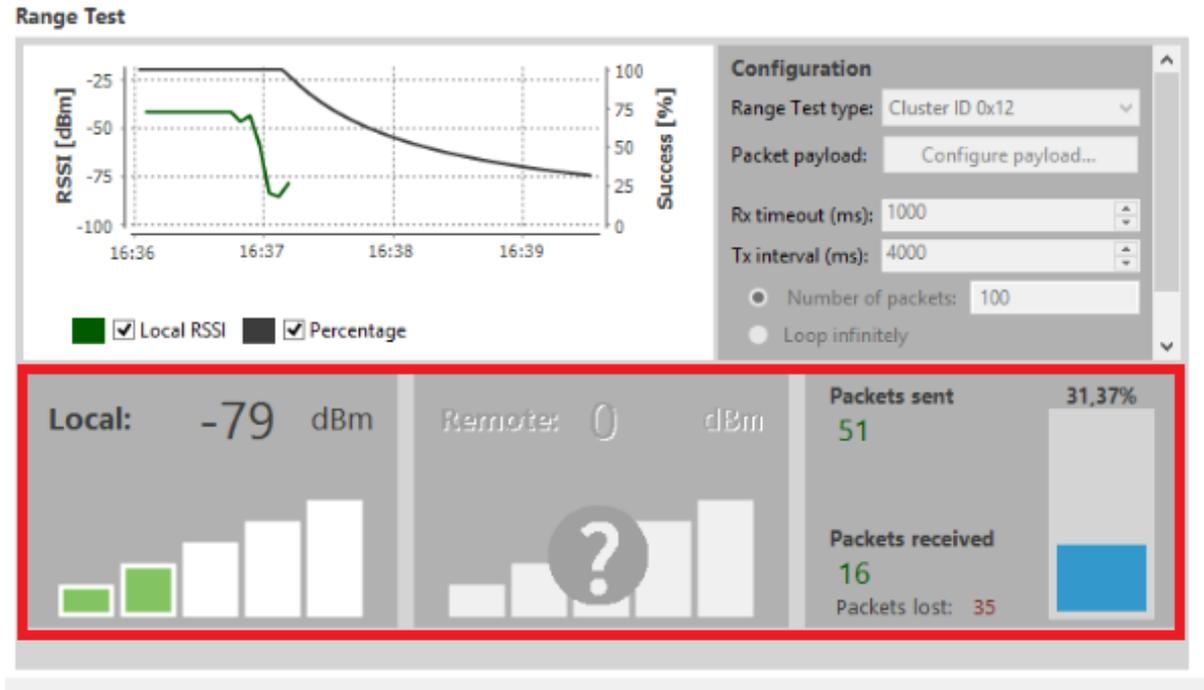
de *Received Signal Strength Indicator* (RSSI - Indicador de Força de Sinal Recebido), dos dispositivos locais e remotos durante a sessão de teste de intervalo, o mesmo também contém o valor percentual de sucesso de envios de pacotes de dados. Através dos testes realizados em campo, é possível verificar que á medida que se distanciava o “Router 02” do coordenador ou do módulo que se encontrava mais próximo á ele, a quantidade de pacote de dados perdidos aumentava consideravelmente, e a relação de distância entre eles so aumentava até se desconectar (FIG. 16, p. 36).

FIGURA 15 - Rádio Range Test.



Fonte: Autoria Própria.

FIGURA 16 - Range Test (Dados).



Fonte: Autoria Própria.

3.2.1.2 Teste de envio de dados

Tomando-se por base uma das muitas qualidades da Rede Mesh, foram realizados alguns testes para comprovar a eficácia da rede no rearranjo da mesma para envio e recebimento de dados, à medida que se distanciava o módulo em análise, do módulo coordenador que estava conectado e sendo analisado utilizando-se do Xctu e do notebook.

Na FIG. 17(p. 37), pode-se observar que a conexão entre os módulos estava funcionando perfeitamente, tendo a quantidade de pacotes de dados enviados igual à quantidade de dados recebidos e a taxa de transferência também se manteve igual: -40dBm.

FIGURA 17 - Primeiro teste de transferência.

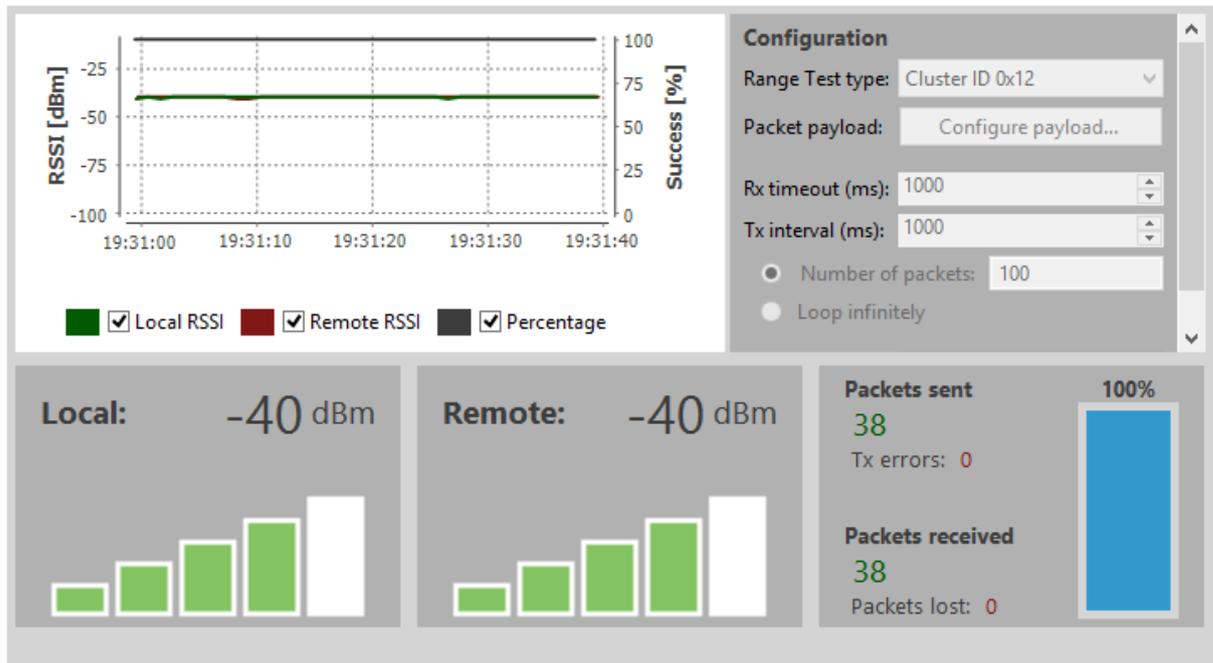
Radio Range Test

This tool allows you to test the real RF range and link quality between two radio modules in the same network. Before starting the Range Test session you need to select a local device and a remote one or specify a remote destination address.

**▼ Device selection**

Select the local radio device: Select the remote radio device:

	0013A200409B0FDE	COORDIN...	ZigBee	API 1	Remote selection: Discovered device
					0013A200409B0FB5 - ROUTER-02

Range Test

Fonte: Autoria Própria.

Em sequência o teste FIG. 18(p. 38), ao distanciar os módulos um do outro, pode-se perceber que a taxa de transferência se manteve, porém ocorreu-se a perda de um pacote de dados, isso aconteceu devido á distância de aproximadamente 20 metros, em área fechada, ou algum outro impasse na transmissão de dados entre eles.

FIGURA 18 - Segundo teste de transferência

Radio Range Test

This tool allows you to test the real RF range and link quality between two radio modules in the same network. Before starting the Range Test session you need to select a local device and a remote one or specify a remote destination address.

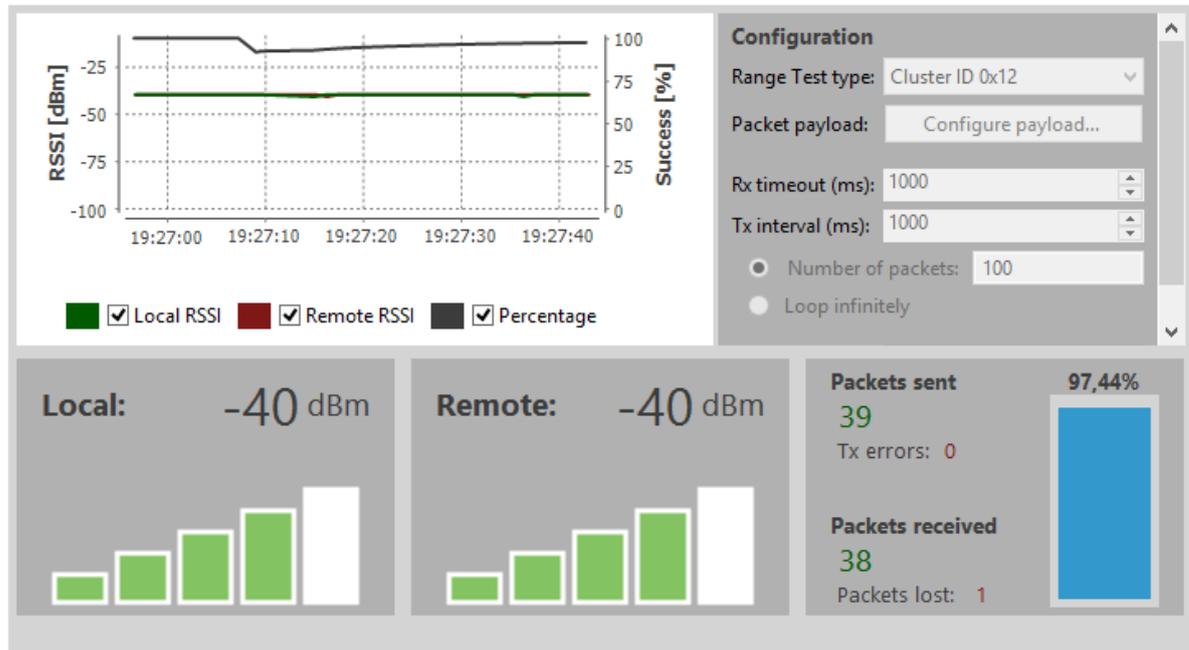
**▼ Device selection**

Select the local radio device: Select the remote radio device:

	0013A200409B0FDE	COORDIN...	ZigBee	API 1

Remote selection: Discovered device

0013A200409B0FB5 - ROUTER-02

Range Test

Fonte: Aatoria Própria.

Ao se distanciar ainda mais os módulos um do outro, distância aproximada de 20 metros em área fechada (presença de paredes, janelas, portas, etc.), observa-se que os mesmos perdem a conexão, FIG. 19(p. 39). Com isso, o número de pacotes de dados enviados só aumentou, mas o número de dados recebidos se manteve.

FIGURA 19 - Terceiro teste de transferência.

Radio Range Test

This tool allows you to test the real RF range and link quality between two radio modules in the same network. Before starting the Range Test session you need to select a local device and a remote one or specify a remote destination address.

**▼ Device selection**

Select the local radio device:

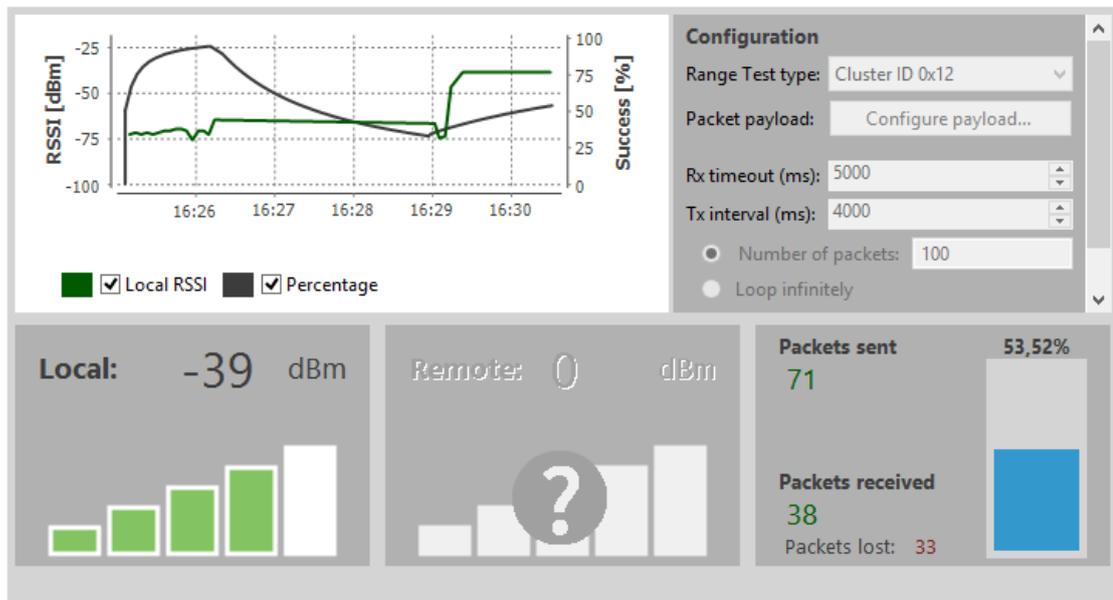
0013A200409B0FD4	COORD	ZigBee	AT
------------------	-------	--------	----

Select the remote radio device:

Discovered device: 0013A200409B0FB5 - REMOTE2

Specify 64-bit address: _____

Specify 16-bit address: _____

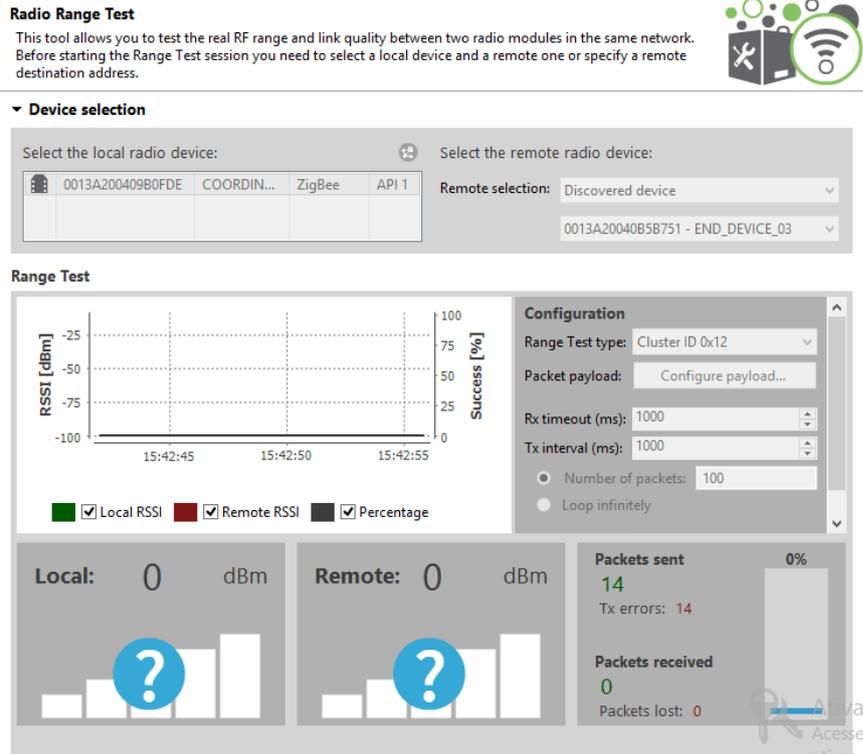
Range Test

Fonte: Autoria Própria

Para corrigir esta falha na transmissão de dados sem a necessidade de reaproximar os módulos um do outro, foi adicionado um módulo entre os mesmos. Antes de adicionar o módulo, pode-se observar que a conexão entre os módulos estava fora do ar, FIG. 20 (p. 40). Ao adicionar outro módulo entre os módulos que estavam sendo analisados, observa-se na FIG. 21 (p. 40), que os mesmos voltaram a se comunicar normalmente, com a quantidade de pacotes de dados enviados, mantendo-se junto com a quantidade de pacote de dados recebidos e a potência de sinal normalizada. Conclui-se com isso, que a Rede Mesh está funcionando corretamente e uma das suas principais características que é em relação ao “roaming”, também conhecido como “fast handoff” (Entrega Rápida), característica da rede que permite ao usuário o trânsito entre os nós da rede sem perder a conexão no momento da troca, a consequência prática é a mobilidade geográfica que o sistema permite, exemplificado no teste realizado.

FIGURA 20 - Teste de transferência em fase final.

Radio Range Test
 This tool allows you to test the real RF range and link quality between two radio modules in the same network. Before starting the Range Test session you need to select a local device and a remote one or specify a remote destination address.



Device selection

Select the local radio device:

Select the remote radio device: Remote selection:

Range Test

Configuration

Range Test type:

Packet payload:

Rx timeout (ms):

Tx interval (ms):

Number of packets:

Loop infinitely

Local: 0 dBm Remote: 0 dBm

Packets sent: 14 Tx errors: 14

Packets received: 0

Packets lost: 0

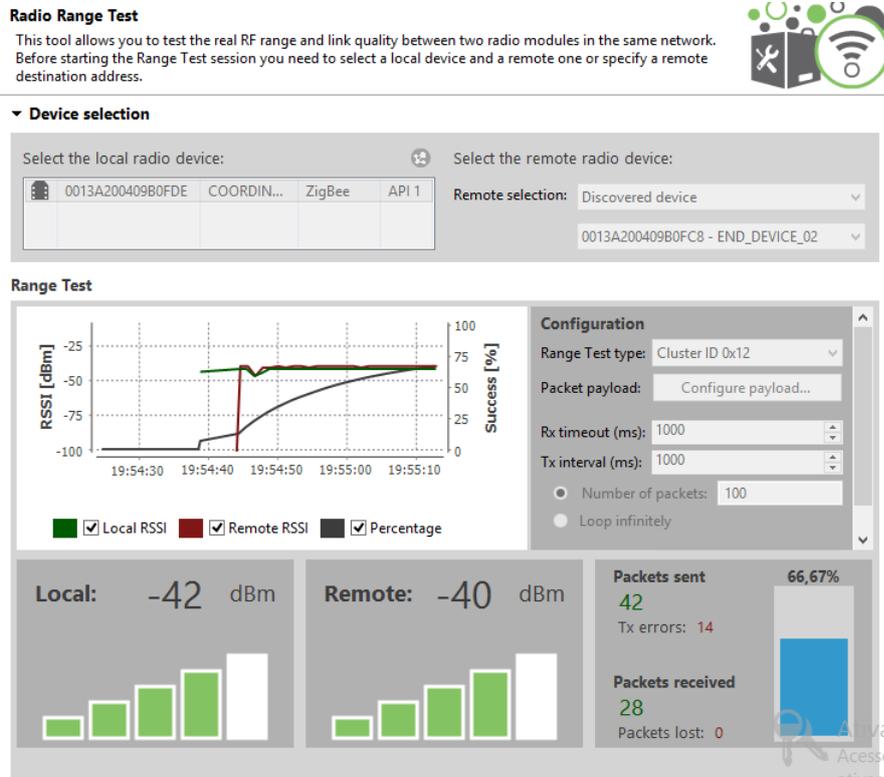
Success [%]: 0%

Legend: Local RSSI Remote RSSI Percentage

Fonte: Aatoria Própria.

FIGURA 21 - Teste finalizado de transferência de dados.

Radio Range Test
 This tool allows you to test the real RF range and link quality between two radio modules in the same network. Before starting the Range Test session you need to select a local device and a remote one or specify a remote destination address.



Device selection

Select the local radio device:

Select the remote radio device: Remote selection:

Range Test

Configuration

Range Test type:

Packet payload:

Rx timeout (ms):

Tx interval (ms):

Number of packets:

Loop infinitely

Local: -42 dBm Remote: -40 dBm

Packets sent: 42 Tx errors: 14

Packets received: 28

Packets lost: 0

Success [%]: 66,67%

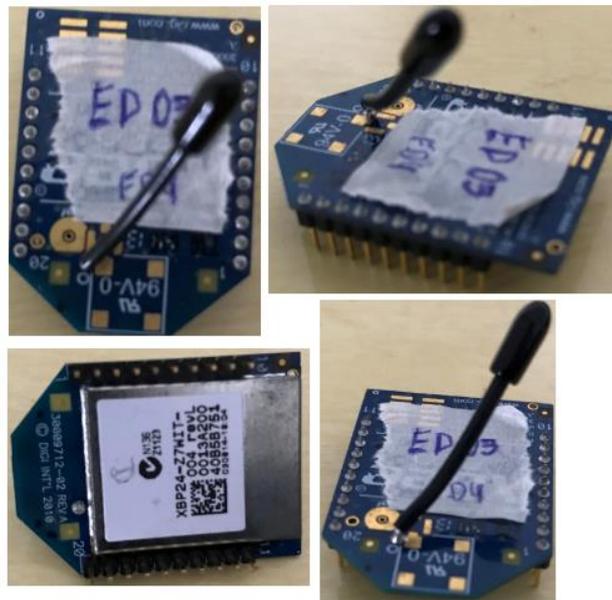
Legend: Local RSSI Remote RSSI Percentage

Fonte: Aatoria Própria.

3.2.1.3 Teste de Roteamento

Pode-se observar que durante todos os testes com o software XCTU, os módulos (FIG. 22) são conectados por linhas que indicam conexões com módulos vizinhos. As setas indicam a direção da comunicação, o mesmo permite ocultar e mostrar conexões entre os módulos e suas respectivas qualidades de sinal, que são mostradas pelas colorações das setas como se pode ver na FIG. 23(p. 42) de acordo com a cor a intensidade de sinal referente á mesma.

FIGURA 22 - Módulo ZigBee Xbee S2 Pro.



Fonte: Autoria Própria.

Além das indicações de qualidade de sinal por cor, observa-se também um ícone de filtros que exibe uma caixa de diálogo com todos os filtros de qualidade de conexão que se pode ser ativado ou desativado quando necessário. Utilizando-se o XCTU em configuração padrão, como foi utilizado, todos os filtros existentes no software estão habilitados, sendo assim todas as conexões estarão visíveis.

FIGURA 23 - Qualidade de Sinal (cor das setas de indicação).

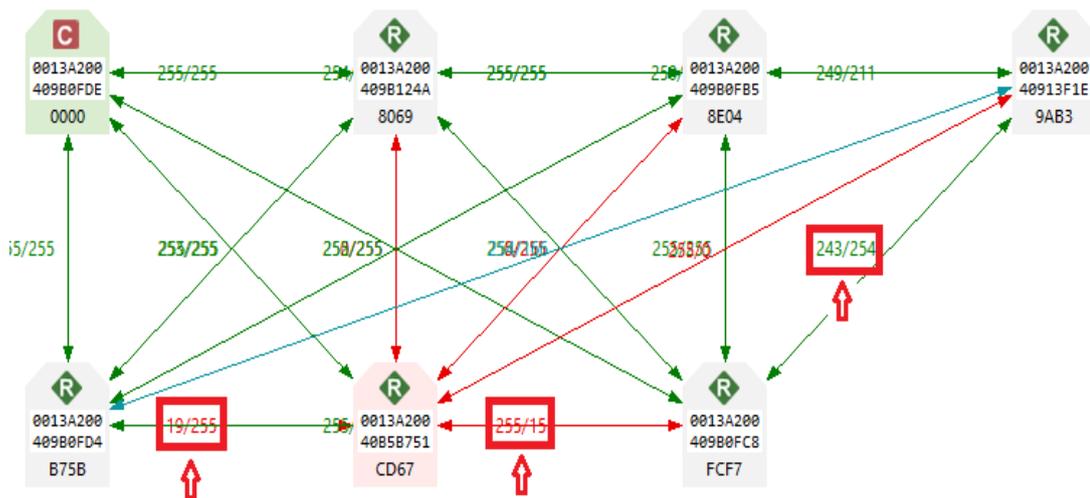


Fonte: Autoria Própria.

O XCTU não exibe a qualidade da conexão entre apenas dois nós, topologia Ponto a Ponto, mas já nas outras topologias, observa-se que a qualidade da conexão entre dois nós é mostrada ao lado da linha que os conecta. Ele exibe dois números separados por uma barra que indicam a qualidade de sinal. Passando-se o cursor do mouse sobre a linha que une os nós, verificam-se a qualidade e o status de ambas as direções da conexão. Se a conexão for unidirecional, uma delas exibe '?' ou 'Desconhecido' porque não pode ser determinada devido a algum problema na conexão, já se estiver com as conexões estáveis a mesma indicará a qualidade de sinal que no caso do XCTU e dada em dB. A qualidade do link será exibida pela Indicação de LQI (Qualidade do Link), um número entre 0, o pior e 255, o melhor, pode-se verificar esta informação na FIG. 24(p. 43), essa informação está indicada nas caixas em vermelho indicadas pelas setas (DIGI, [201-]).

Na FIG. 24(p. 43) o módulo colorido em vermelho, representa o dispositivo que está na rede (ou estavam), mas está inacessível no momento que foi analisado a rede. Quando um módulo deixa de ser reconhecido na rede, alguns dispositivos presentes na mesma continuam armazenando informações sobre seu relacionamento. Sendo assim, quando uma nova descoberta é executada, o módulo aparece devido às informações preservadas, mas o dispositivo não pode ser alcançado se tentar verificar a conexão.

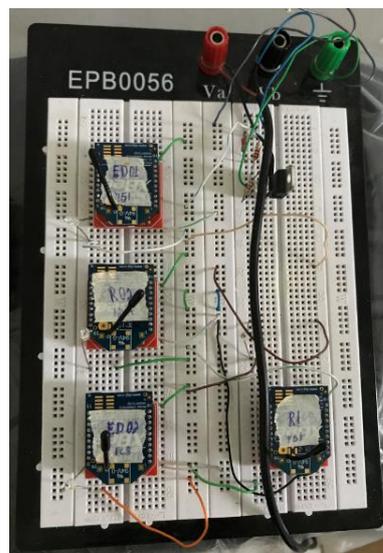
FIGURA 24 - Qualidade de sinal.



Fonte: Autoria Própria.

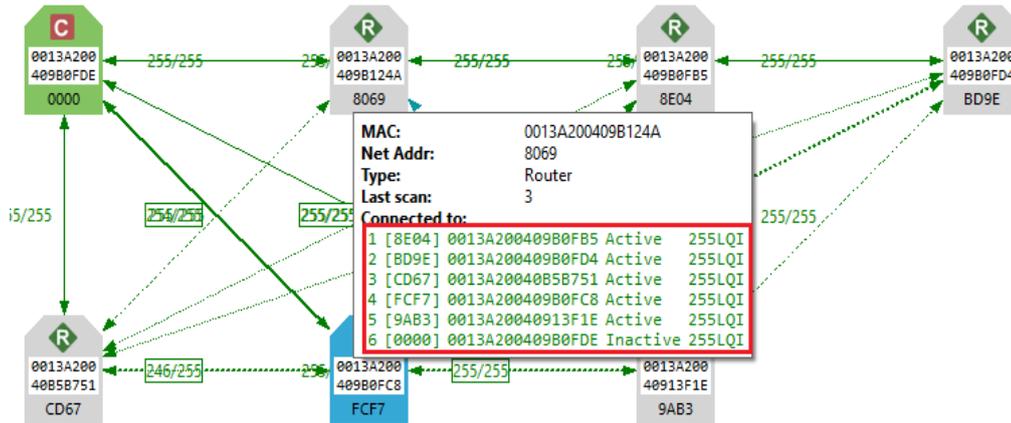
Os módulos (FIG. 25) são exibidos graficamente como nós da rede, mostrando o papel de cada módulo nas indicações, sendo elas “C”- Coordenador, “R”- Roteador ou “E”- End Device (FIG. 26, p. 44) e endereço MAC referente a cada um deles, bem como o Endereço de Rede de 16 bits para redes ZigBee e o Identificador de Nó para o restante dos protocolos, ao passar o cursor do mouse sobre eles pode-se ver mais detalhes, cada módulo exibe informações sobre si mesmo, como seu endereço e ou sua função pode-se observar estes dados na FIG. 26(p. 44).

FIGURA 25 - Módulos em análise.



Fonte: Autoria Própria.

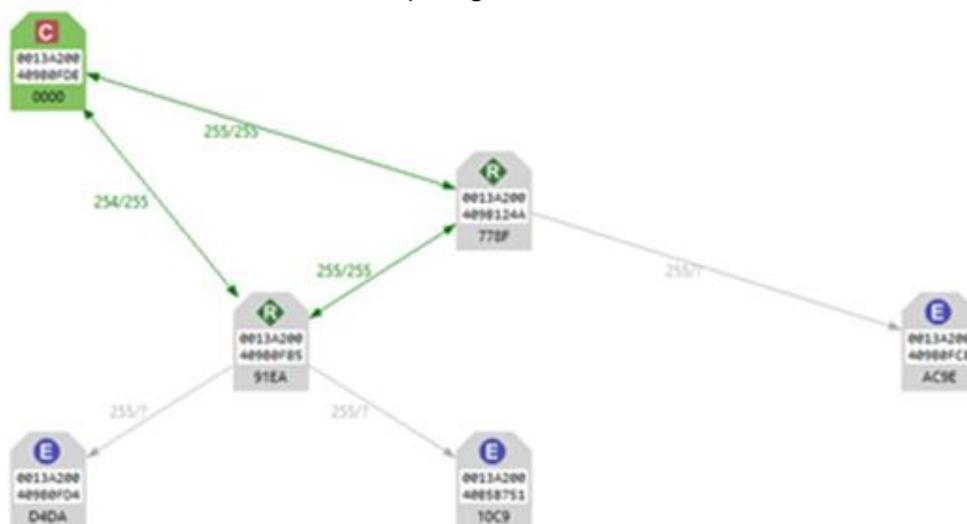
FIGURA 26 - Dados do módulo.



Fonte: Autoria Própria.

Na FIG. 27, pode-se observar a rede se comunicando inicialmente como uma topologia em árvore. Neste tipo de rede em questão, pode-se observar o funcionamento da rede de acordo com a hierarquia, pra cada roteador tem-se um ou mais End. Device se comunicando a eles e os mesmos estão ligados ao coordenador da rede. Pode-se ver através da mesma figura, o coordenador da rede se comunicado com os roteadores, os quais estão se comunicando também entre si, mas que anteriormente estavam se comunicando com os End. Device, que foram desligados, por este motivo ficaram fora da rede. Porém, pode-se observar que os mesmos continuam aparecendo na estrutura da rede em demonstração, mas se encontram desconectados.

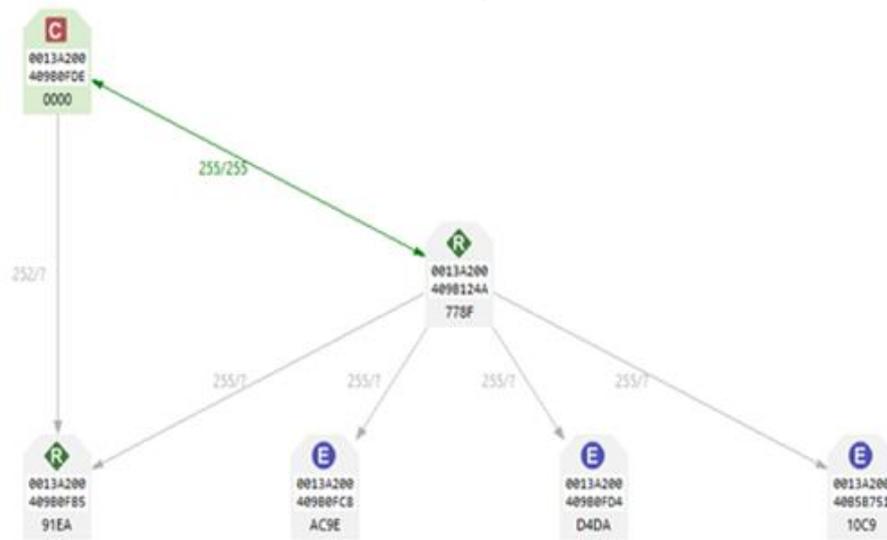
FIGURA 27 - Topologia em árvore iniciando.



Fonte: Autoria Própria.

Observa-se através da FIG. 28, que a rede após a queda de um dos roteadores, ela se rearranjou e voltou a se comunicar normalmente através do outro roteador que se encontrava ligado, se comunicando com os demais módulos End. Device presentes na rede que anteriormente estavam em comunicação com o roteador que foi desligado.

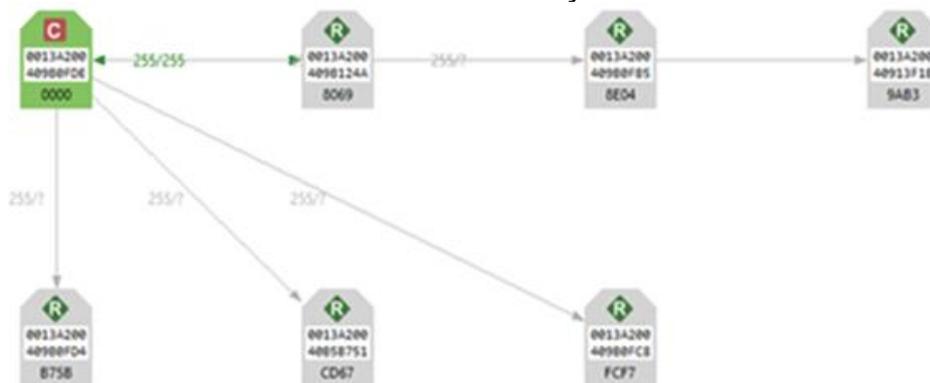
FIGURA 28 - Rearranjamento de Rede.



Fonte: Autoria Própria.

Agora já com a topologia da rede como barramento FIG. 29, é possível observar alguns módulos que já estavam se comunicando entre si, entrando em comunicação com o coordenador que está conectado no notebook. Essa é uma rede em barramento que em sequência virará uma Rede de topologia Mesh. Conforme se pode observar na sequência das FIG. 29, 30, 31, 32 e 33 a rede se rearranjando e tomando forma de uma Rede Mesh, com todos os módulos se comunicando entre si.

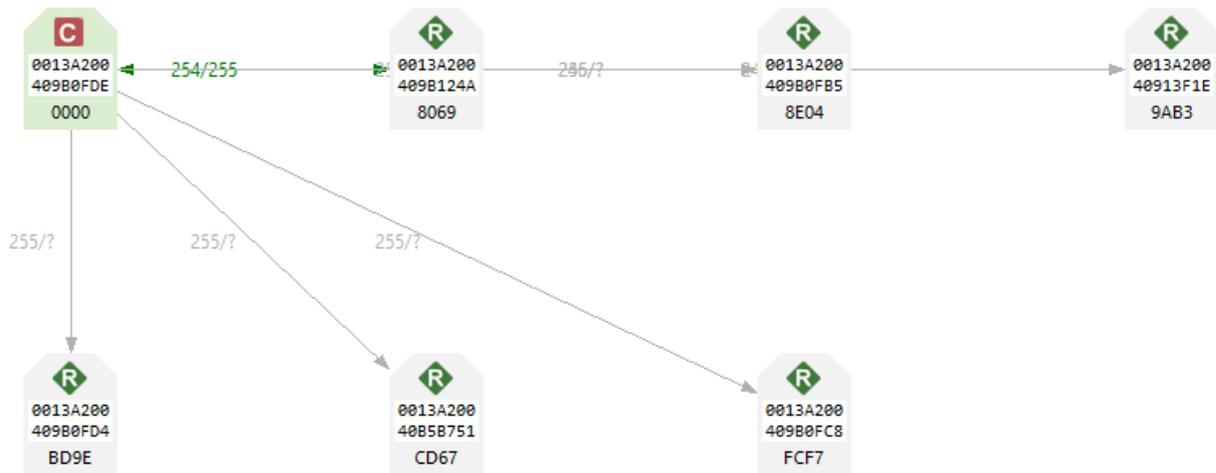
FIGURA 29 - Início de estruturação de Rede Mesh.



Fonte: Autoria Própria

Na FIG. 30 o coordenador já começou a se comunicar com dois dos módulos da rede, o que pode ser observado através das setas de indicação em verde.

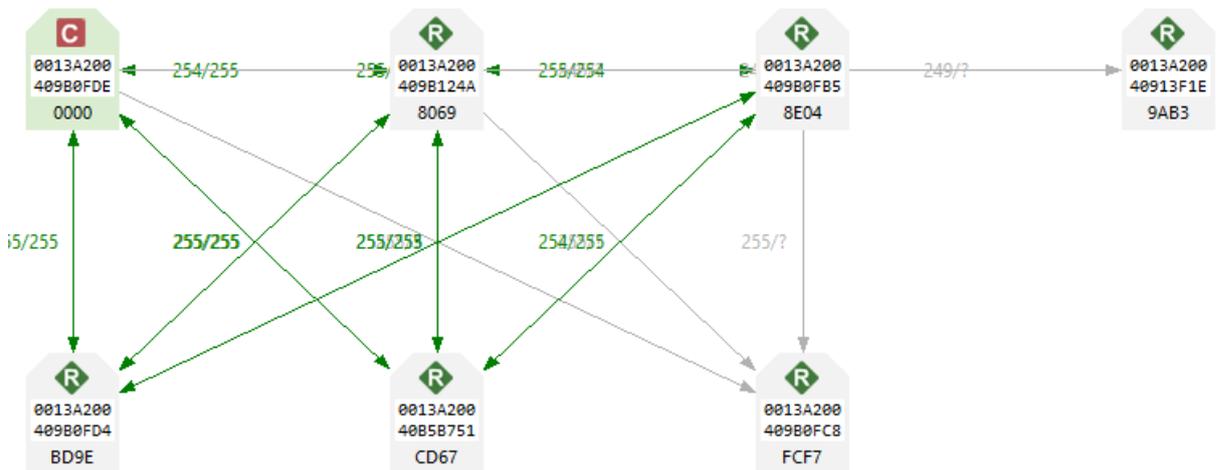
FIGURA 30 - A rede começando a comunicação.



Fonte: Autoria Própria.

Em seguida, na FIG. 31, observa-se que já se obteve a comunicação com cinco módulos da rede e os mesmos já estão se comunicando em parte entre si.

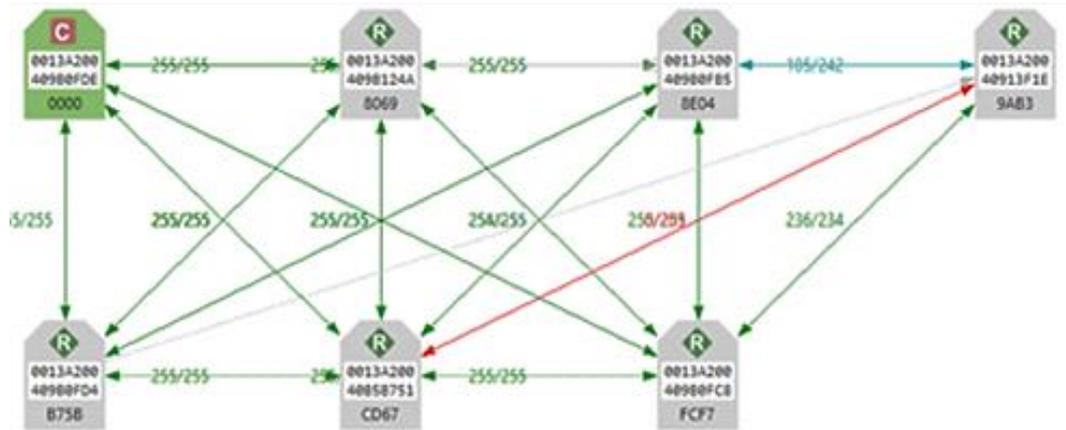
FIGURA 31 - Rede parcialmente se comunicando.



Fonte: Autoria Própria.

Na FIG. 32 (p. 47), pode-se observar que quase todos os módulos estão se comunicando entre si, somente os das extremidades, os com seta cinza, ainda não estão se comunicando diretamente entre eles.

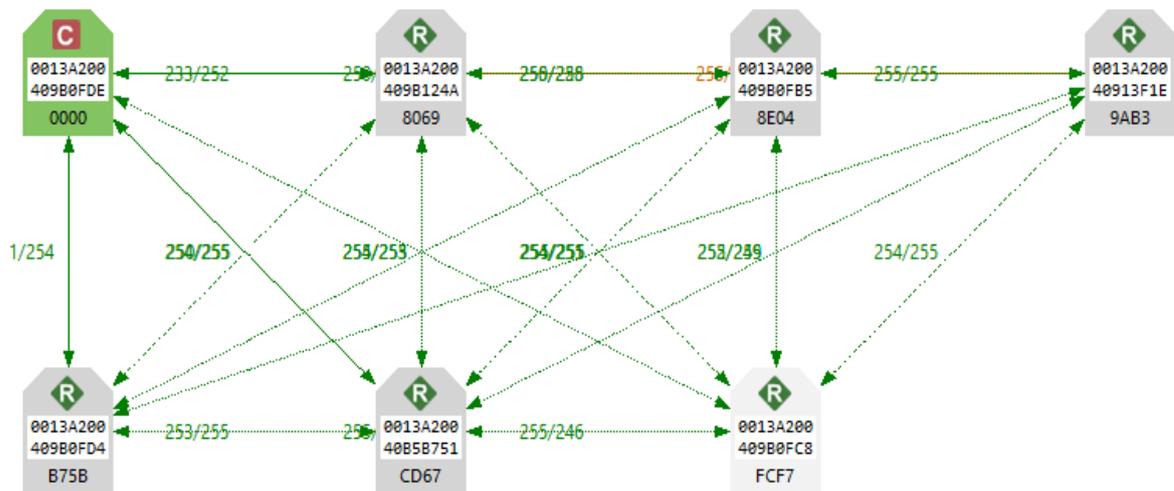
FIGURA 32 - Rede Mesh pronta.



Fonte: Autoria Própria.

Observa-se na FIG. 33 que todos os módulos da rede estão se comunicando entre si e que a Rede Mesh está 100% concluída agora. Todos os nós da rede estão se comunicando perfeitamente, sem nenhuma falha aparente como se pode observar nas figuras anteriores.

FIGURA 33 - Rede Mesh toda se comunicando.

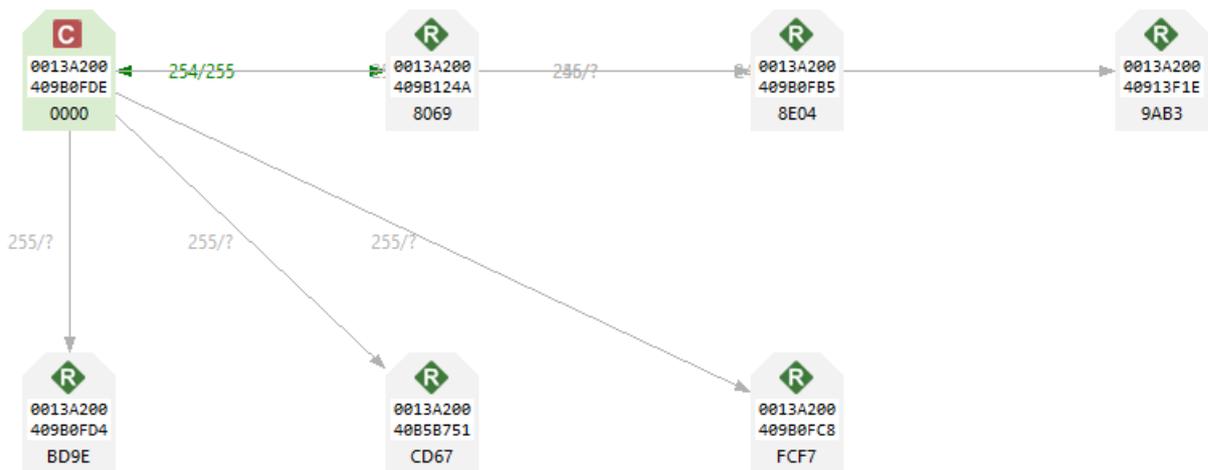


Fonte: Autoria Própria.

Na FIG. 34(p. 48) é possível observar a Rede Mesh formada, porém está bem descaracterizada, com cinco módulos fora da rede, os mesmos foram desligados anteriormente e percebe-se na própria estrutura da rede, que foram desconectados. Já na FIG. 35(p. 48), após religá-los, pode-se observar um dos comportamentos da Rede Mesh que é muito interessante: a reestruturação da rede

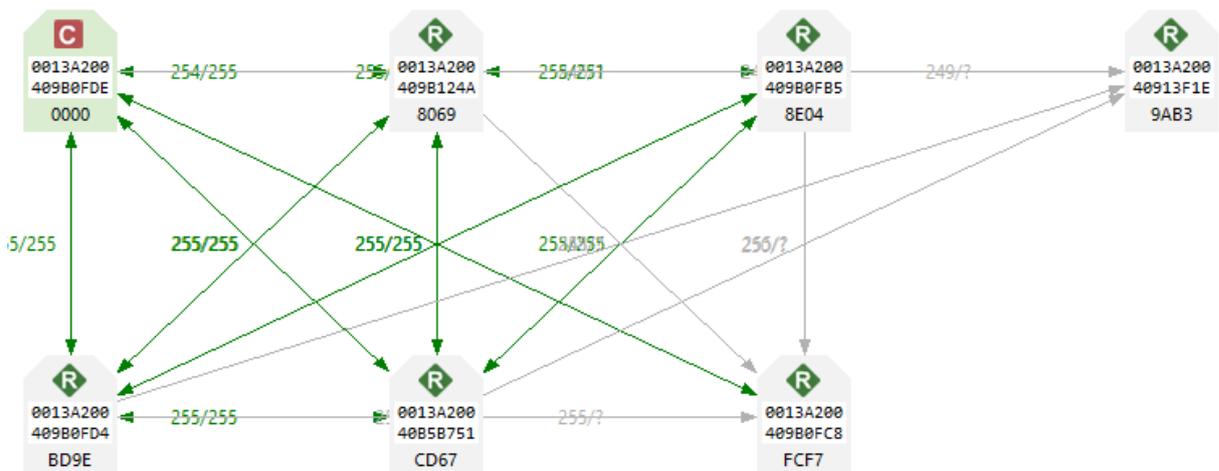
ocorrendo e se comunicando novamente com os módulos que anteriormente estavam desligados e foram religados, entrando automaticamente na rede que já se encontrava em funcionamento.

FIGURA 34 - Módulos desligados.



Fonte: Autoria Própria.

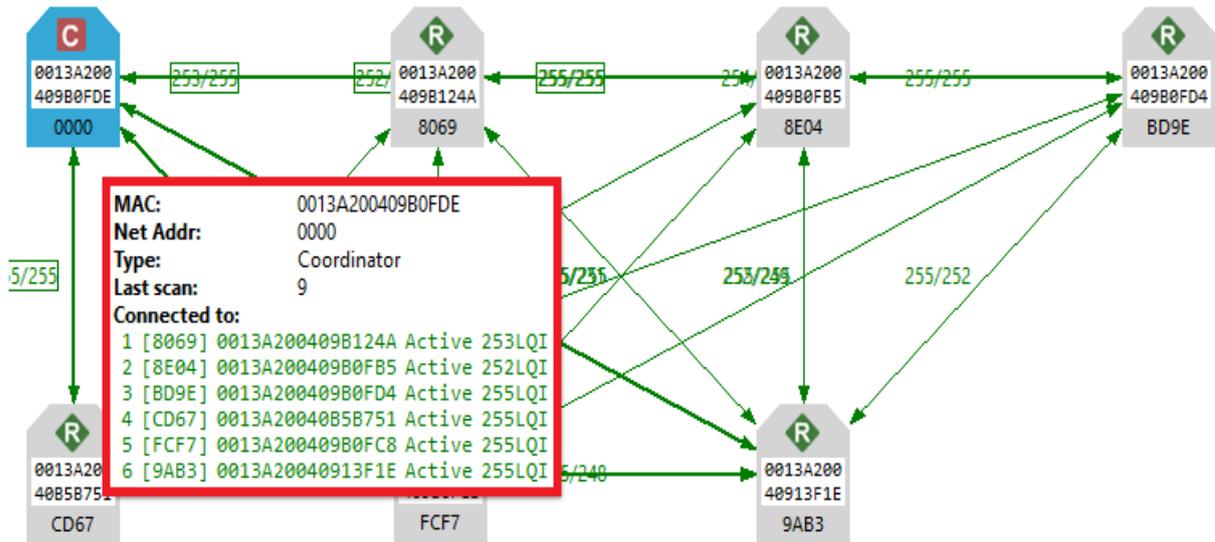
FIGURA 35 - Módulos religados.



Fonte: Autoria Própria.

Através da FIG. 36(p. 49) pode-se observar, utilizando-se de mais um dos recursos do Software XCTU, que o coordenador está se comunicando com todos os outros módulos da rede em perfeito funcionamento, conforme status da rede referenciado na tabela que se encontra marcado com um retângulo em vermelho.

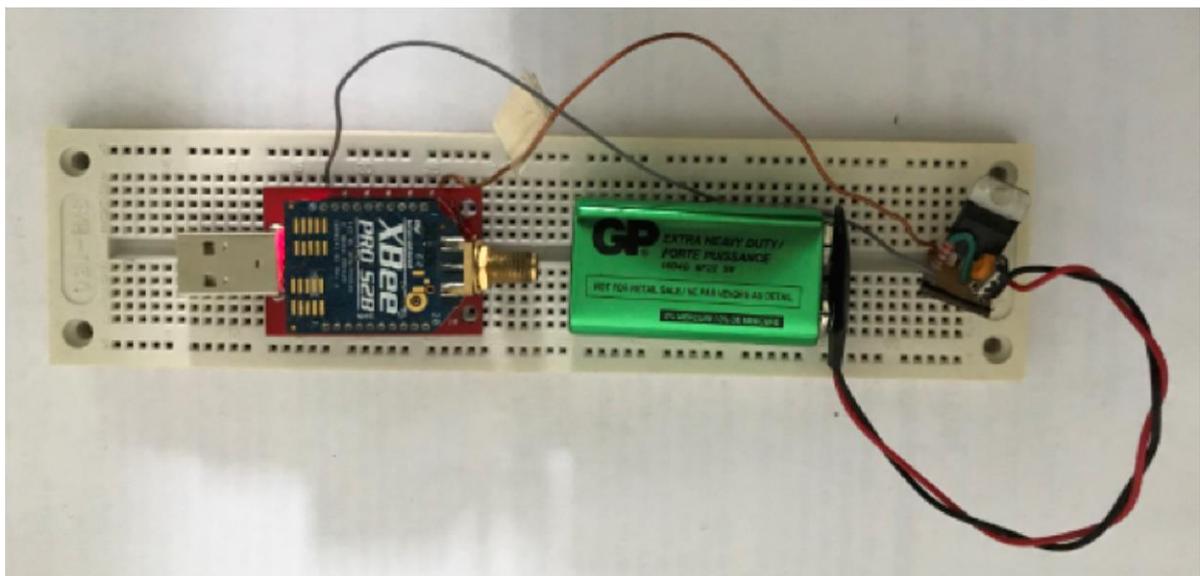
FIGURA 36 - Status do Coordenador da rede.



Fonte: Autoria Própria.

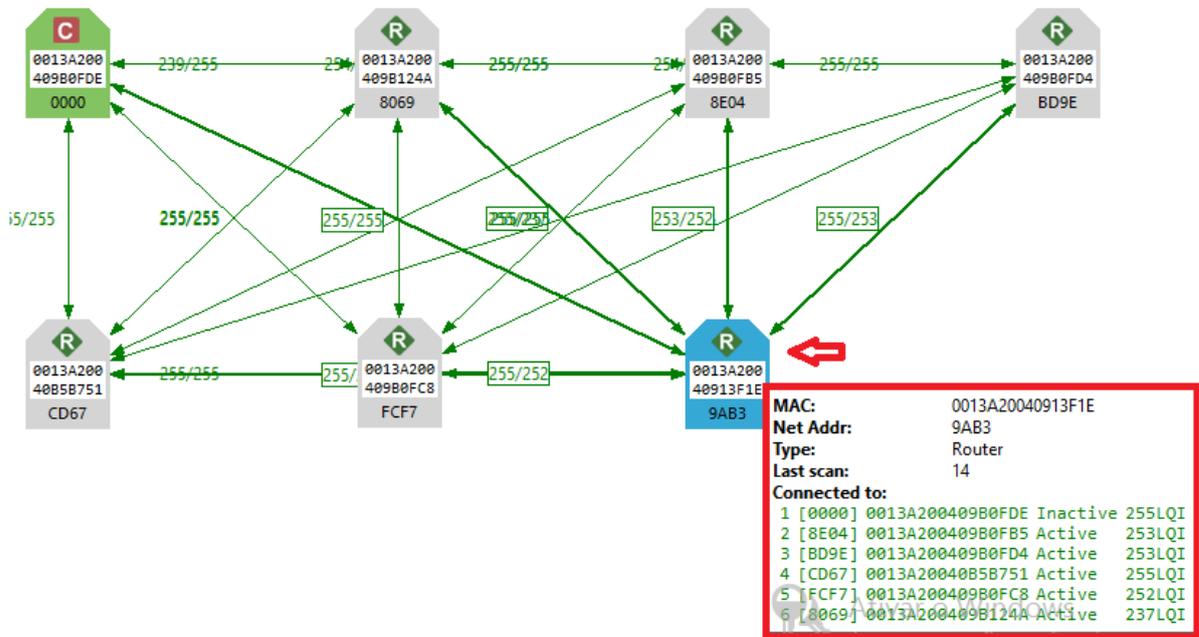
Da mesma forma que na FIG. 36, visualiza-se o status de comunicação do coordenador com os de mais módulos. Pode-se observar na FIG. 38(p. 50), que todos os outros módulos como este usado como referência, que se encontra alimentado externamente por uma bateria e fixado a uma protobord (FIG. 37), também se encontram em constante comunicação com os demais módulos da rede, inclusive com o coordenador.

FIGURA 37 - Módulo externo.



Fonte: Autoria Própria.

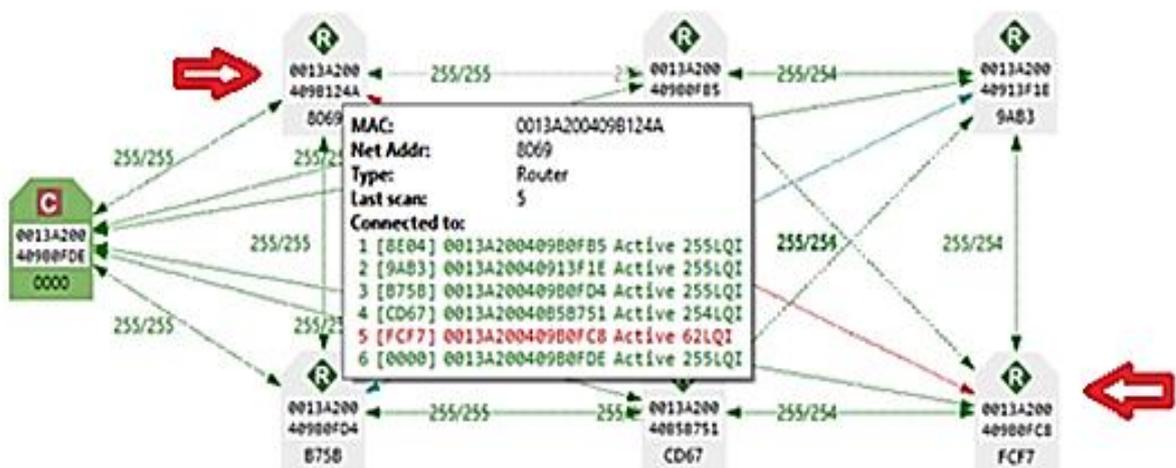
FIGURA 38 - Falha na comunicação dos roteadores.



Fonte: Autoria Própria.

Já na FIG.39, observa-se a rede toda se comunicando, porém é possível ver uma seta vermelha, a mesma está presente também na FIG.38, que indica dois módulos (indicados com setas em vermelho) comunicando entre si, mas através de uma conexão mais fraca de sinal. Isso ocorreu devido a ele estar se distanciando fisicamente dos demais, este tipo de comunicação que foi estabelecida em uma topologia de rede comum seria impossível, mas através da Rede Mesh isso ocorreu de uma maneira automática (DIGI, [201-]).

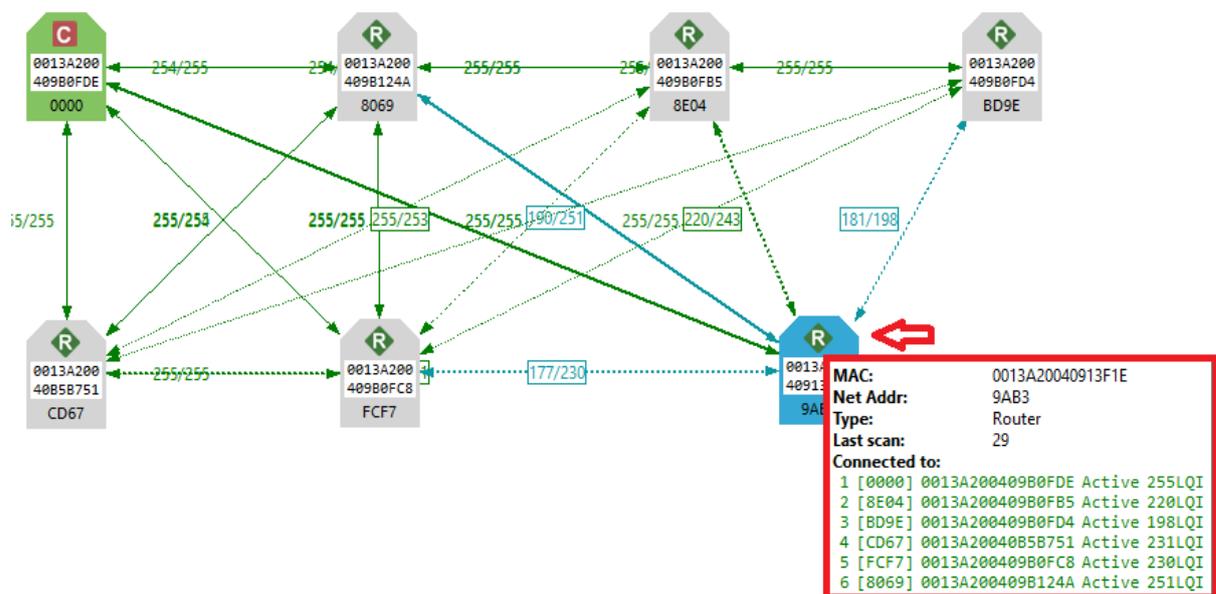
FIGURA 39 - Status de falha na comunicação.



Fonte: Autoria Própria.

Pegando agora como referencia na FIG. 40, o módulo que se encontra mais distante fisicamente dos demais módulos da rede, ele se encontra marcado com uma seta em vermelho, pode-se observar através da tabela demarcada com um retângulo vermelho, que o mesmo está se comunicando com todos os outros nós da rede normalmente, mesmo estando-o mais distante dos demais módulos. Isso ocorre com certa facilidade, devido à uma das características da Rede Mesh, justamente pelo fato dela conseguir fazer a reestruturação da rede, comunicando o módulo que se encontra mais distante com os módulos que se encontram mais próximos a ele.

FIGURA 40 - Status do roteador.

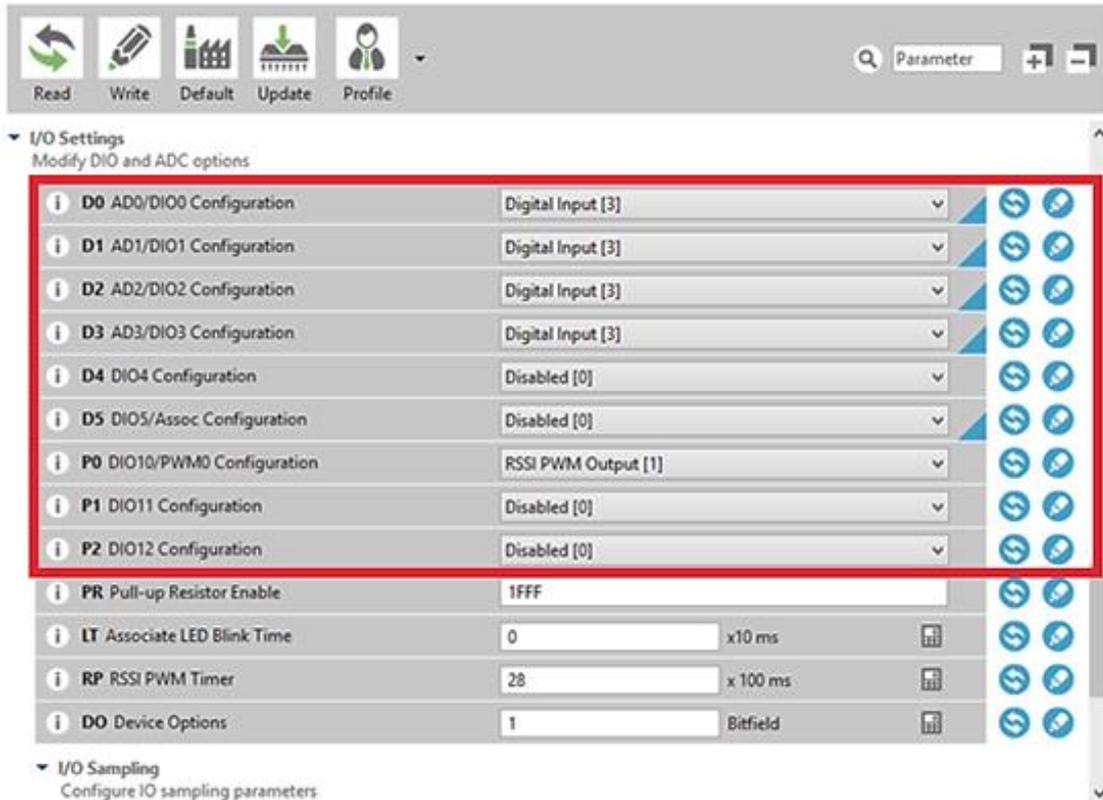


Fonte: Autoria Própria.

3.2.2 TESTES DE SAIDAS E ENTRADAS DIGITAIS

O módulo já vem com suas respectivas entradas e saídas digitais pre configuradas de fabrica para receber e enviar sinal de tensão de 3.3vcc. Mas para realizar o teste, foi feito programação do módulo no próprio software XCTU, para realizar testes das entradas digitais, no caso da FIG. 41(p. 52), foram configuradas as quatro primeiras portas, como Digital Input (entrada digital), entradas das quais serem utilizadas nos testes em sequência.

FIGURA 41 - Configuração Módulo.

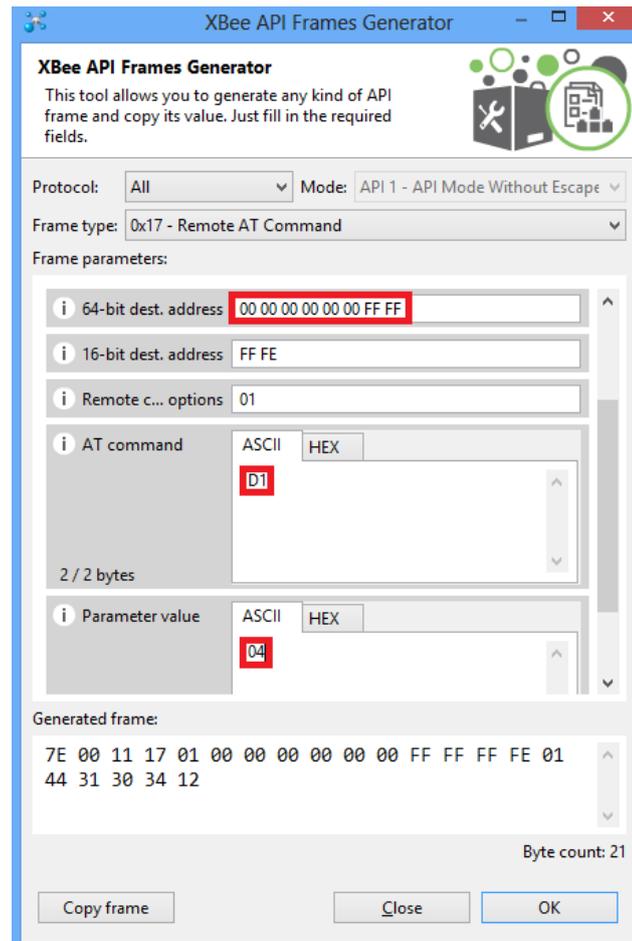


Fonte: Autoria Própria.

É necessário fazer a pre configuração das entradas e saídas no módulo que serão utilizadas. Neste módulo em questão, FIG. 41, foram configuradas as entradas D0, D1, D2 e D3. Seguindo os testes com nível de sinal 1(High- 3.3vcc) e 0 (low- 0vcc) como pode-se observar na FIG. 43(p. 53), o mesmo está com todas as suas entradas com seus respectivos status. Este módulo em análise, pode ser utilizado para receber dados oriundos de sensores de presença, sensores de abertura de porta, micro switch, dentre vários outros dispositivos.

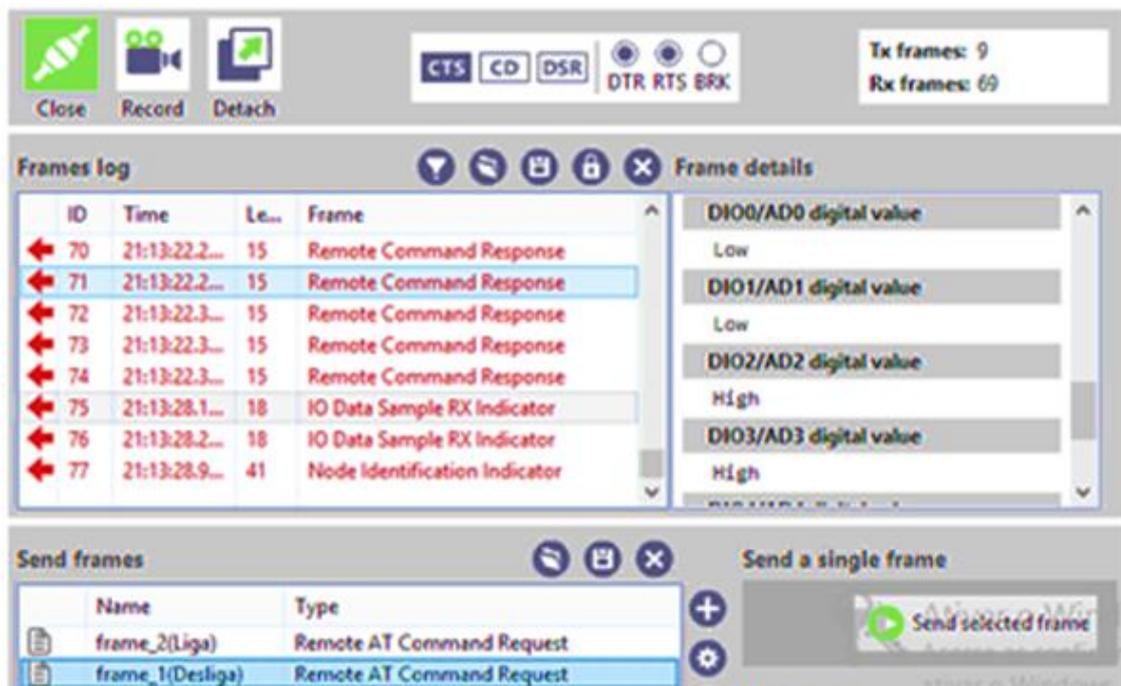
Pode-se verificar na FIG. 42(p. 53) algumas marcações realizadas na mesma, sendo elas, código para endereço de destino "00 00 00 00 00 00 FF FF", no caso configurado para teste em Broadcast (envio para todos os módulos da Rede). Já a configuração "D1" (AT command) e "04"(Parameter value), determina a opção de leitura ou envio de sinal digital.

FIGURA 42 - Código para testes digitais.



Fonte: Autoria Própria.

FIGURA 43 - Respostas aos testes digitais.



Fonte: Autoria Própria.

Verifica-se na FIG. 44, todos os módulos que estão inseridos na Rede Mesh respondendo ao broadcast, que neste caso em questão, foi dado um comando para ativar a saída digital “01”, de todos os módulos que estão com essa saída configurada. Podendo esta ser utilizada para ligar e desligar um equipamento remotamente.

FIGURA 44 - Todos os módulos respondendo ao comando.

The screenshot displays the XCTU software interface. At the top, there are control buttons for 'Close', 'Record', and 'Detach', along with status indicators for CTS, CD, DSR, DTR, RTS, and BRK. On the right, it shows 'Tx frames: 327' and 'Rx frames: 662'. The main area is divided into two sections: 'Frames log' and 'Send frames'.

Frames log:

ID	Time	Length	Frame
982	19:48:45.702	7	Transmit Status
983	19:48:45.731	15	Remote Command Response
984	19:48:45.743	15	Remote Command Response
985	19:48:45.752	15	Remote Command Response
986	19:48:45.783	15	Remote Command Response
987	19:48:45.783	15	Remote Command Response
988	19:48:45.803	15	Remote Command Response

Send frames:

Name	Type
frame_2(Liga.Roteador)	Remote AT Command Request
frame_1(Desliga.Roteador)	Remote AT Command Request
frame_2(Liga.tudo)	Remote AT Command Request
frame_1(Desliga.tudo)	Remote AT Command Request

On the right side of the 'Send frames' section, there are controls for 'Send a single frame' (with a 'Send selected frame' button) and 'Send sequence' (with a 'Transmit interval (ms): 500' dropdown, 'Repeat times 1' selected, and a 'Start sequence' button).

Fonte: Autoria Própria.

3.2.3 TESTES DE ENTRADAS ANÁLOGICAS

Na FIG. 48 (p. 57) é possível observar o funcionamento da recepção de sinal analógico. Um dos módulos foi configurado para receber sinal analógico na entrada 01. Utilizando-se do recurso do software XCTU efetua-se a leitura referente à tensão na entrada, que no caso deste módulo, o “Xbee pro s2”, a entrada tem capacidade de leitura variando-se a tensão na entrada do mesmo, de 0vcc a 1,33vcc. Esta variação de tensão foi feita usando uma fonte de tensão variável.

Pode-se verificar na FIG. 45(p. 55) algumas marcações realizadas na mesma, sendo elas, código para endereço de destino “00 13 A2 00 40 9B 0F B5”, no caso configurado para teste em Unicast (endereçamento de dados para apenas um correspondente), sendo este código referente ao Router 02. Já a configuração “IS”

no AT command, determina a opção de leitura ou envio de sinal analógico.

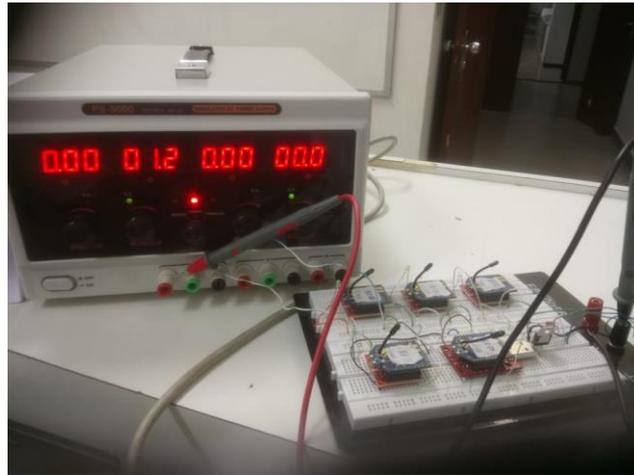
Verificou-se através das respostas por ele enviadas, após os testes em laboratório, a relação descrita na TAB. 02(p. 57).

FIGURA 45 - Configuração Unicast.

Fonte: Aatoria Própria.

Verifica-se a indicação da leitura do sinal analógico em destaque na FIG. 48(p. 57), a distância dos módulos em análise, não ultrapassou 3 metros. Este sinal analógico vêm de uma fonte variável de tensão ligada ao pino configurado como Analogic Digital Converter (ADC), FIG. 46(p. 56). Estes dados mostrados no FIG. 48(p. 57), são apresentados nos módulos como valores hexadecimais (dois bytes) que podem ser convertidos para decimal e usados em algumas aplicações. Embora a informação esteja descrita em dois bytes (16 bits), os canais ADC do módulo XBEE S2 Pro possuem resolução de 10 bits, logo o dígito hexadecimal mais significativo é sempre 0_H.

FIGURA 46 - Montagem em laboratório.



Fonte: Autoria Própria.

A TAB. 02(p. 37) mostra os valores lidos através do multímetro (FIG 47) para diversos sinais de tensão de entrada, bem como os valores equivalentes no sistema decimal. Devido à precisão da variação de entrada de sinal analógico do módulo, teve-se dificuldade de estabilizar o sinal de tensão de saída da fonte de acordo com a tensão desejada, devido à falta de sensibilidade da fonte regulável utilizada. Mas os testes foram efetivos. O fundo de escala analógico do módulo está em torno de 1,33 V, sendo assim, qualquer sensor analógico conectado à entrada deve trabalhar com valores no intervalo de 0 a 1,33 V.

FIGURA 47 - Leitura no Multímetro.

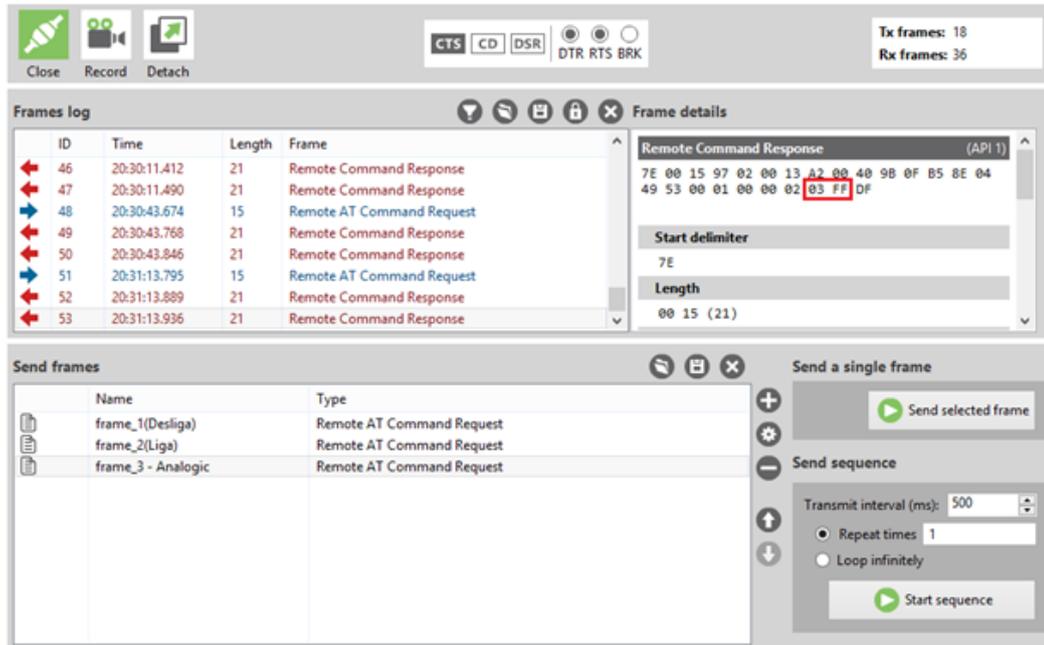


Fonte: Autoria Própria.

Exemplos de aplicações analógicas que podem ser feitas utilizando-se dos módulos, retornos de posição de sensores a laser, utilizados para medição de distâncias; sondas de nível para medição de nível de tanques em geral; sensores de temperatura e diversos outros instrumentos analógicos. Esses instrumentos podem

trabalhar com formas diferentes de transmissão de informação (níveis de tensão diferentes, transmissão por corrente, etc.), desde que passem por algum equipamento que converta seu sinal nos valores adequados para o módulo.

FIGURA 48 - Respostas analógicas.



Fonte: Autoria Própria.

TABELA 02 - Valores analógicos levantados.

FONTE VCC	LEITURA HEXADECIMAL		VALOR DECIMAL
0,095	0	0	0
0,123	0	5	5
0,198	0	48	72
0,292	0	97	151
0,393	1	4B	331
0,508	1	4B	331
0,613	1	A3	419
0,703	1	F4	500
0,815	2	52	594
0,915	2	A8	680
0,995	2	EC	748
1,092	3	3F	831
1,18	3	91	913
1,295	3	EC	1004
1,306	3	F6	1014
1,337	3	FF	1023
1,392	3	FF	1023

Fonte: Autoria Própria.

4 CONCLUSÕES

O objetivo do projeto foi demonstrar através de aspectos físicos, estruturais e técnicos da Rede Mesh, bem como aplicá-la como um meio de comunicação, utilizando-se para isso o padrão Zigbee. Com o uso dos dispositivos XBee Pro S2 e o auxílio do software XCTU, foram realizados testes de comunicação e roteamento dinâmico da rede, ambos satisfatórios. O projeto demonstrou uma ampla capacidade da Rede Mesh, em se rearranjar de acordo com o que ocorre entre os módulos da rede, quando os mesmos entraram em falha, ou se distanciaram o suficiente para não serem mais encontrados, desconectando-se da rede. Porém, ao serem reaproximados ou quando outro módulo se aproximou deste, o mesmo voltou a se comunicar normalmente.

Os módulos também foram utilizados simulando uma rede de sensores e atuadores, através de testes de leitura e escrita de variáveis digitais, e de leitura de variáveis analógicas. Esses testes demonstraram que a Rede Mesh sem fio pode ser utilizada como rede para monitoramento e controle de dados remotos, onde outras formas de comunicação podem ser inviáveis (a cabeada, por exemplo, para instalações de difícil acesso).

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação da topologia mesh em uma rede real de sensores e atuadores, inclusive testando condições adversas como presença de interferências atmosféricas e eletromagnéticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCARTICULOS. **Artigos gratuitos**. [2001-]. Disponível em: <http://pt.abcarticulos.info/article/tipos-de-meios-de-transmisso>. Acesso em: 21 jun. 2018.

BRASIL ESCOLA. **O que é física?** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-fibras-opticas.htm>. Acesso em: 10 abril 2018.

BRITO, Carla. 3 de Março de 1847: Nasce Alexander Bell, o inventor do telefone. **Estórias da História**, [S.L.], v. 12, mar. 2014. Disponível em: <http://estoriasdahistoria12.blogspot.com/2014/03/3-de-marco-de-1847-nasce-alexander-bell.html>. Acesso em: 28 mar. 2018.

CANALTECH. **Lan, wlan, man, wan, pan: conheça os principais tipos de redes**. Disponível em: <https://canaltech.com.br/infra/lan-wlan-man-wan-pan-conheca-os-principais-tipos-de-redes/>. Acesso em: 12 out. 2018.

CAN STOCK PHOTO. **Plato, satélite foto de arquivo**. Disponível em: <https://www.canstockphoto.es/plato-sat%c3%a9lite-0946311.html>. Acesso em: 23 jul. 2018.

CONCEITO.DE. **Conceito de telecomunicação**. Disponível em: <https://conceito.de/telecomunicacao>. Acesso em: 23 fev. 2018

DESMONTA & CIA. **Zigbee ou ieee 802.15.4 – conheça a tecnologia a fundo** Disponível em: <https://desmontacia.wordpress.com/2011/02/22/zigbee-ou-ieee-802-15-4-conheca-a-tecnologia-a-fundo/> Acesso em: 16 maio 2018

DIÁRIO DE NILTON FELIPE. **Zigbee**. Disponível em: <https://niltonfelipe.wordpress.com/2015/02/09/zigbee/>. Acesso em: 19 out. 2018.

DIGI. **Range test tool**. Disponível em: <http://docs.digi.com/display/xctu/range+test+tool>. Acesso em: 04 jun. 2018.

DIGI. **Manege your radio network**. Disponível em: <http://docs.digi.com/display/xctu/manage+radio+network>. Acesso em: 04 jun. 2018.

DIGI. **How-to: visualize your network**. Disponível em: <http://docs.digi.com/display/xctu/how-to:+visualize+your+network>. Acesso em: 05 jun. 2017.

ISSUU. **Redes de computadores**. Disponível em: https://issuu.com/kenderson/docs/redes_de_computadores. Acesso em: 14 abr.2018.

KLEINA, Nilton. **A história da Internet: pré-década de 60 até anos 80** [infográfico]. TECMUNDO. 29 abr. 2011. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/infografico/9847-a-historia-da-internet-pre-decada-de-60-ate-anos-80-infografico-.htm>. Acesso em: 19 out. 2018.

MEIOS DE TRANSMISSÃO DE DADOS. **Infravermelho**. Disponível em: <http://meios-de-transmissao-de-dados.blogspot.com/2011/04/infravermelho.html>. Acesso em: 18 set. 2018.

MERCADO LIVRE. **Cabo Coaxial**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-817207524-rolo-cabo-coaxial-rfs-kmp-rgc58-c-50-ohms-rigido-15-metros-_JM?quantity=1. Acesso em: 24 jul. 2018.

OFICIAL DA NET. **Como funciona a internet via rádio?** Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/10234-como-funciona-a-internet-via-radio>. Acesso em: 13 jul. 2018.

OFICINA DO ÁUDIO. **Harmônicos: o que são?**. Disponível em: <http://oficinadoaudio.blogspot.com/>. Acesso em: 29 jan 2018.

PORTAL SÃO FRANCISCO. O barulho e seus efeitos sobre a audição. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/decibeis>. Acesso em: 04 set. 2017.

PROJETO DE REDES. **As redes com zigbee**. Disponível em: https://www.projeto.dereedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php. Acesso em: 28 abr. 2018.

PRETTO, Nelson De Luca e SILVEIRA, Sérgio Amadeu da (org.). **Além das redes de colaboração: internet, diversidade cultural e tecnologias do poder**. Salvador: EDUFBA, 2008. 232 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/75337590/CROSSMEDIA-Alem-das-Redes-de-Colaboracao-Sergio-Amadeu>. Acesso em: 16 ago. 2018.

PTCOMPUTADOR. **Micro-ondas rádio comunicações vantagens e desvantagens**. Disponível em: <http://ptcomputador.com/networking/other-computer-networking/78936.html>. Acesso em: 03 mar. 2018.

REDEMESH. **Protocolos de roteamento dinâmico**. Disponível em: <https://sites.google.com/site/redemesh/home/roteamento-dinamico>. Acesso em: 15 ago. 2018.

REPOSITORI OBIB. **Análise de viabilidade de implantação de uma rede mesh sem fio**. Disponível em: <http://www.repositoriobib.ufc.br/000033/000033e0.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2018.

SABER ELÉTRICA. **Como funciona a capacitação de sinal via satélite**. Disponível em: <https://www.sabereletrica.com.br/capitacao-de-sinal-via-satelite/>. Acesso em: 11 jun. 2018.

SARAIVA, Vinício Araujo; DUTRA, Fabio de Souza; ALBUQUERQUE, Sílvia Calmon de. **Rede Mesh alimentada por energia solar. e-xacta**, Belo Horizonte: UniBH, v. 4, n. 3, 2011. p. 103-116. Disponível em: www.unibh.br/revistas/exacta/. Acesso em: 12 mar. 2017.

SPSWARMUAV. **Week six – program xbee & ppt**. Disponível em: <http://spswarmuav.blogspot.com/2014/06/week-six-program-xbee-ppt>. Acesso em: 02 set. 2017.

TECNOBLOG, João Brunelli Moreno. **Pesquisadores usam laser para criar conexão de 1 gigabit**. Disponível em: <https://tecnoblog.net/100466/laser-conexao-1-gbps/>. Acesso em: 22 nov. 2017.

VALLE, Carlos Magno Catharino Olsson. **Comunicação por radio frequência para Controladores Lógicos Programáveis (CLP)**. TCC Engenharia de Controle e Automação na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 28 de Junho de 2013. 60f. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/21715/21715.PDF>. Acesso em: 22 set. 2018.