

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**INTERNET DAS COISAS: DEFINIÇÕES, UMA ABORDAGEM DO
PROTOCOLO ZIGBEE E DESAFIOS FUTUROS**

Rodrigo Daniel Castiglioni Agüero

Orientadora Prof^ª Dr^ª Janne Y. Y. Oeiras Lachi

DOURADOS - MS

2015

**INTERNET DAS COISAS: DEFINIÇÕES, UMA ABORDAGEM DO
PROTOCOLO ZIGBEE E DESAFIOS FUTUROS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Exatas e Tecnologia da Universidade
Federal da Grande Dourados, como parte
dos requisitos para obtenção do grau de
Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Janne Y. Y. Oeiras Lachi

DOURADOS - MS

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A282i Agüero, Rodrigo Daniel Castiglioni

Internet das Coisas: Definições, uma abordagem do protocolo Zigbee e desafios futuros / Rodrigo Daniel Castiglioni Agüero -- Dourados: UFGD, 2016.
21f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Janne Yukiko Yoshikawa Oeiras Lachi

TCC (graduação em Sistemas de Informação) - Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da Grande Dourados.
Inclui bibliografia

1. Internet das Coisas. 2. Dispositivos autônomos. 3. Protocolo Zigbee. I.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, saúde e disposição para superar as dificuldades nesta caminhada.

A minha família, principalmente a meus pais Blaz Antonio e Rosa Elena, pelo apoio incondicional e pela compreensão.

A minha orientadora, Prof. Dra. Janne Y. Y. Oeiras Lachi, pelo incentivo e orientação neste trabalho, pelas ideias e sugestões no sentido de enriquecer o conteúdo deste trabalho.

Aos docentes da Universidade Federal da Grande Dourados, pelo conhecimento compartilhado ao longo dos anos.

A todos eles, meu mais sincero obrigado.

"A melhor maneira de prever o futuro é inventá-lo."

Alan Curtis Kay

RESUMO

Este trabalho aborda os conceitos ligados à Internet das Coisas, sua trajetória atual na aplicação de diversas tecnologias, como o Zigbee, que visam facilitar a vida das pessoas e automatiza processos, e as perspectivas futuras de utilização em número crescente de aparelhos e equipamentos, bem como seu impacto na sociedade moderna e os desafios na área de segurança. O trabalho tem o formato de artigo, o qual será submetido para a revista eletrônica Horizontes SBC, seguindo suas normas de formatação para submissão.

Palavras-chave: Internet das coisas, dispositivos autônomos, protocolo Zigbee.

Internet das coisas

Definições, uma abordagem do protocolo Zigbee e desafios futuros.

Rodrigo D. Castiglioni Agüero, rodrigodaniel@outlook.com, UFGD

Janne Y. Y. Oeiras Lachi, janneoeiras@ufgd.edu.br, UFGD

RESUMO

Este artigo aborda os conceitos ligados à Internet das Coisas, sua trajetória atual na aplicação de diversas tecnologias, como o Zigbee, que visam facilitar a vida das pessoas e automatiza processos, e as perspectivas futuras de utilização em número crescente de aparelhos e equipamentos, bem como seu impacto na sociedade moderna e os desafios na área de segurança.

Internet das coisas: Definição

Com a utilização de um aplicativo instalado no *smartphone*, o proprietário da casa abre a porta da frente para seu amigo entrar, graças à fechadura conectada à Internet. A partir do mesmo *smartphone*, a pessoa é capaz de ligar as luzes internas e externas da casa, conferir quem entrou ou saiu e até mesmo revistar o interior da geladeira, a qual poderá enviar uma fotografia do interior ou contabilizar quantos ovos ou caixas de leite seus sensores detectaram, tudo isso estando no local de trabalho ou até mesmo a centenas ou milhares de quilômetros de distância. Esse cenário, antes restrito apenas a filmes de ficção, hoje em dia é possível e acessível ao consumidor graças à Internet das Coisas.

A Internet das Coisas é conceituada como a interconexão de diversos objetos do nosso entorno com a Internet, podendo essa conexão ser permanente ou intermitente. Os dados gerados a partir dos objetos podem ser processados de modo automático ou por interferência de algum operador humano. Ela também é definida como um cenário em que animais, objetos e pessoas, munidos de identificadores únicos, poderão transferir dados pela rede, evoluindo no sentido a se basear na comunicação sem fios e na miniaturização de componentes para a construção dos dispositivos. [1]

Por exemplo, em Medicina, com o suporte de Internet das Coisas, médicos e hospitais podem coletar e organizar dados vindos de dispositivos médicos conectados, incluindo *wearables* e monitores de saúde instalados em casas de seus pacientes. Esses dados coletados em tempo real podem melhorar o atendimento através de diagnósticos e tratamentos mais eficazes [2].

Para se chegar ao estágio atual de desenvolvimento, foi preciso a criação e reunião de diversas tecnologias ao longo do tempo, além do trabalho de diversos especialistas em áreas nem sempre correlatas. O estabelecimento da ARPANET foi o passo decisivo para a revolução informática que vivemos na atualidade.

A ARPANET foi a precursora da Internet, um projeto financiado e suportado pela ARPA (*Advanced Research Projects Agency*), uma agência pertencente ao Departamento de Defesa norte americano. Inicialmente projetado apenas para uso restrito, os primeiros mainframes interligados por esta rede eram pertencentes a órgãos governamentais e universidades. Em 1969 foi realizado o primeiro envio de mensagem textual através da recém-inaugurada rede ARPANET. Nos anos seguintes a rede teve um crescimento lento por conta dos custos e da complexidade dos sistemas. A rede utilizava o protocolo NCP (*Network Control Program*), padrão utilizado até 1981, quando foi substituído pelo TCP/IP [3]. A figura 1 mostra a situação da rede ARPANET

em 1972, poucos computadores estavam conectados por meio de cabos, os quais atravessavam o território americano e ligavam universidades (como Stanford, Harvard, MIT, dentre outros) com órgãos do governo norte-americano (NOAA e ARPA). A partir desta rede inicial mais instituições se ligaram ao que se transformaria na Internet atual.

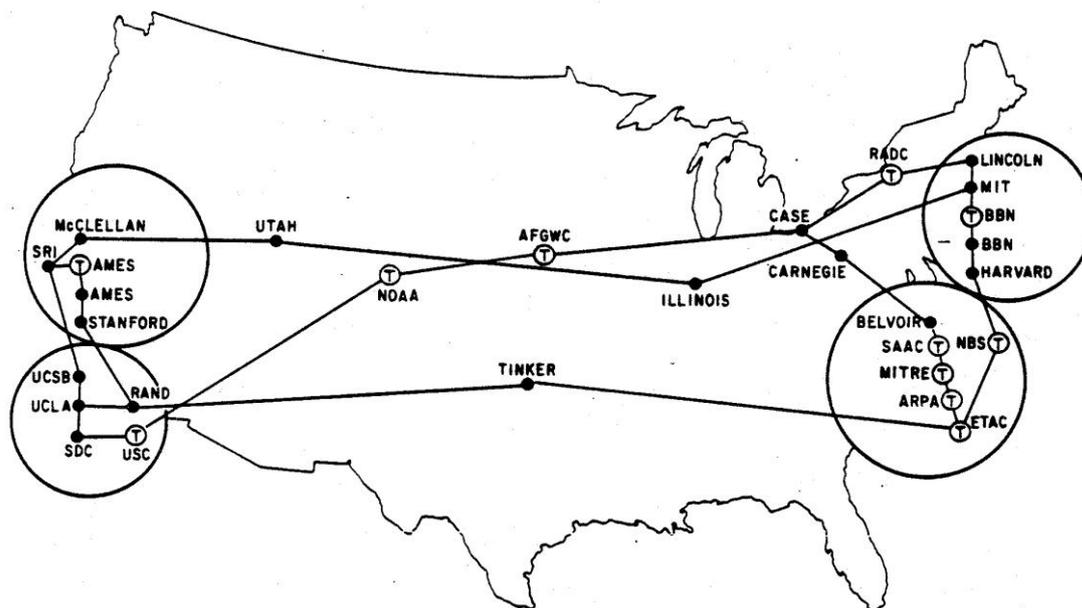


Figura 1 – Rede ARPANET em 1972 [24]

Com a popularização dos computadores e o potencial comercial da rede foram criados novos serviços e protocolos de comunicação, dentre eles o e-mail, criado por Ray Tomlinson em 1971, e o sistema de documentos interligados na rede, que seria conhecido como WWW (World Wide Web) por Tim Berners-Lee, em 1989 [4].

Após a expansão da Internet nos anos 90 e a popularização do computador em lares e locais comerciais e o surgimento de facilidades como compras e pagamentos online, começaram a surgir esforços no sentido de integrar à rede mais tecnologias que agilisassem processos industriais, inicialmente, e depois criar produtos que utilizassem essa conectividade com a Internet destinado ao consumidor final. A ideia expandiu-se a outras áreas e logo o termo “Internet das coisas” passou a denominar tecnologias e conceitos mais amplos que a abordagem original, flexibilizando o conceito de que a Internet estava restrita apenas a computadores e servidores. [5].

A Internet das Coisas nasceu como denominação oficial graças a um trabalho de apresentação realizado por Kevin Ashton, da Auto-ID Center, para a P&G em 1999. A apresentação visava chamar a atenção dos executivos da P&G para a utilização de etiquetas RFID (*Radio Frequency IDentification*, identificação por radiofrequência) na cadeia de produção da empresa, com o objetivo de manter um rastreamento confiável da qualidade dos produtos (Figura 2).



Figura 2 – Etiqueta RFID. [23]

O uso de RFID se estendeu nos anos 70 e começou a ser usado em sistemas de prevenção a roubos de lojas, rastreamento de animais (coleiras e, mais recentemente, implantes) e rastreamento industrial de linhas de produção.

Apesar da popularidade das etiquetas RFID nos ambientes industriais, estas possuíam um campo de utilização muito restrito e não interagiam com as redes de computadores existentes na época. A popularização da Internet entre usuários domésticos, a criação de novas empresas voltadas à tecnologia da informação e o barateamento de custos de acesso tornaram possível que mais dispositivos eletrônicos, além dos computadores, estivessem conectados à Internet e interagissem com ela. Estas facilidades abriram espaço para a inteligência computacional em dispositivos variados.

Os dispositivos ditos “inteligentes” são baseados, em sua maioria, numa arquitetura de comunicação M2M (*machine-to-machine*, ou comunicação entre máquinas). Um desenvolvimento prático deste conceito (que ainda não era chamado de Internet das Coisas) ocorreu na década de 80 com uma máquina automática de refrigerantes, instalada na *Carnegie Mellon University*. A máquina possuía um circuito conectado à rede da universidade e, graças a um comando em qualquer terminal de computador localizado na mesma rede, era possível saber se a máquina ainda tinha estoque de refrigerantes ou se havia esgotado. O sistema utilizava o protocolo *finger*, o qual originalmente era utilizado pelos usuários para obter informações de outros usuários no sistema, como contas, nomes, estado de conexão, etc. Hoje em dia a maioria dos sistemas modernos não responde a requisições usando *finger* por questões de segurança [2] [6][7].

A iniciativa se espalhou por diversas universidades ao redor do mundo e diversas máquinas, de venda de refrigerantes e salgadinhos, foram conectadas às redes universitárias. Poucas sobreviveram até os dias atuais utilizando a tecnologia original, sendo substituídas por controladores modernos e sistemas voltados para a Web. Um exemplo de sobrevivente é a máquina de refrigerantes da *University of Western Australia* (UWA), a qual ainda responde a consultas via linha de comando utilizando o protocolo *finger*, conforme Figura 3 [8].

```

C:\>finger coke@ucc.gu.uwa.edu.au

[ucc.gu.uwa.edu.au]
The University Computer Club                http://www.ucc.gu.uwa.edu.au/
-----
The UCC Coke machine.

0 - Avail 85 null coke
1 - Sold 77 kole beer
2 - Sold 77 pasito
3 - Avail 80 sprite
4 - Avail 80 solo
5 - Avail 77 creaming soda
6 - Avail 93 coke

May your pink fish bing into the distance.
-----
Debian GNU/Linux      Copyright (c) 1993-2007 Software in the Public Interest

```

Figura 3 – Resposta do pedido de informação à máquina de refrigerantes da UWA. [8]

Estas inovações, voltadas à comunicação entre aparelhos que normalmente não interagem entre si ou com a Internet, inicialmente eram implementadas com *hardware* e *software* próprios para sistemas de computadores, com as devidas adaptações. Com a popularização do conceito, diversos fabricantes começaram a criar produtos que embutiam tecnologias e códigos proprietários, não havendo uma padronização e dificultando a manutenção e adoção por parte de concorrentes.

Com este cenário heterogêneo houve a necessidade de se criar um protocolo especialmente voltado à comunicação entre máquinas, visando baixo custo operacional, confiabilidade, padronização e abertura aos fabricantes e pessoas interessadas em programação de dispositivos. Nesse contexto nasceu o projeto que se tornaria o protocolo Zigbee.

Protocolo Zigbee

O protocolo Zigbee foi criado conjuntamente pelo IEEE e a Zigbee Alliance com a finalidade específica de operar em dispositivos sem fio com um baixo consumo de energia. A utilização do protocolo para fins acadêmicos ou domésticos não requer autorização ou pagamento. No caso de empresas que desejem utilizar o protocolo, é necessária a aquisição de uma licença para receber a certificação de conformidade para os produtos que usam o protocolo, assim como para o uso da marca e logo [9].

Algumas das características predominantes do protocolo são:

- Consumo baixo de bateria.
- Baixo custo de instalação e manutenção dos aparelhos.
- Alcance típico de 50 metros.
- Opera em diferentes velocidades de transmissão, com velocidades oscilando entre 20 kbps (normal) a 250 kbps (máximo).
- Utiliza as bandas de 868 MHz (para transmissão a 20 kbps) até 2,4 GHz (para transmissão a 250 kbps).
- Endereçamento de 16 bits para redes (limite de 65535 redes) e 64 bits para dispositivos (limite de $1,8 \times 10^{19}$ dispositivos).

Os dispositivos que utilizam o protocolo podem ser de dois tipos:

- RFD (*Reduced Function Device*): Dispositivos que só podem receber comandos do dispositivo coordenador. Fazem parte de uma rede com topologia tipo estrela, onde um dispositivo coordenador emite ordens para os demais dispositivos. Este é o tipo mais comum de dispositivos comerciais, pois minimiza os custos e a complexidade dos sistemas. O protocolo Zigbee contempla pelo menos um dispositivo coordenador e os demais dispositivos do tipo RFD.
- FFD (*Full Function Device*): Dispositivos com funcionalidades completas que podem receber e emitir ordens e conversar com outros dispositivos.

Os dispositivos que utilizam Zigbee podem ser classificados em três tipos:

- Coordenador: Este será o dispositivo único dentro de uma rede, possui funcionalidades do tipo FFD e terá a maior capacidade computacional, além de nunca desligar ou entrar em modo suspenso. A configuração, inicialização e atribuição de nós da rede é de responsabilidade do dispositivo coordenador.
- Roteador: Dispositivo com funcionalidades do tipo FFD, embora não seja coordenador. É utilizado para expandir a cobertura da rede e melhorar o tráfego de dados.
- Cliente: Dispositivo com funcionalidades do tipo RFD, aptos apenas a receber comandos e de baixo consumo energético [10].

A figura 4 ilustra três possíveis cenários de comunicação entre dispositivos Zigbee:

- Topologia estrela: Mais simples de configurar, consta de um nó coordenador e diversos filhos. Também tem menor alcance de comunicação entre dispositivos por ser o único FFD.
- Topologia árvore: Semelhante à topologia anterior, também possui um nó coordenador, porém o número de dispositivos finais (as “folhas”) podem ser maiores pelo uso de dispositivos intermediários (roteadores), o que aumenta seu alcance e minimiza custos.
- Topologia malha: Nesta topologia pode haver dois ou mais dispositivos coordenadores (FFD) interagindo entre si, maximizando seu alcance com nós roteadores que se comunicam com os nós terminais.

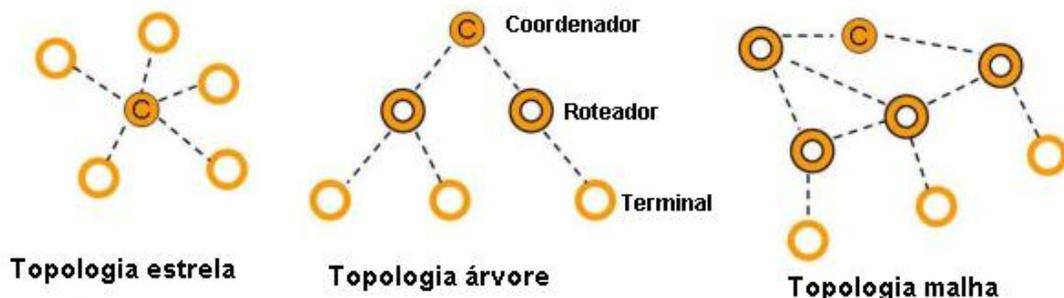


Figura 4 – Comunicação entre dispositivos Zigbee [10].

A comunicação é assegurada com o uso da criptografia AES, que é um algoritmo de criptografia simétrica aprovado e utilizado pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*) dos Estados Unidos, de especificação e implementação abertas [25], protegendo e garantindo a integridade da transmissão de dados. O suporte a criptografia

é necessário, visto que dispositivos de uso crítico podem ser atacados ou ter seus dados roubados, mas por outro lado é necessário ter presente que o suporte a criptografia implica em gastos computacionais extras, o que impacta no consumo energético do dispositivo.

As chaves de criptografia utilizadas por dois dispositivos na comunicação podem ser obtidos por diversas estratégias, como o uso de *jumpers* eletrônicos que selecionam um conjunto de chaves pré-determinadas já programadas no dispositivo; transmissão mútua das chaves no início da comunicação (método inseguro, pois há possibilidade de interceptação); geração de chaves de modo aleatório baseado no protocolo SKKE (*Symmetric-Key Key Establishment*) com a presença prévia de uma chave mestra configurada em ambos dispositivos. O protocolo SKKE está contemplado nas especificações do Zigbee [10].

Os aparelhos que utilizam o protocolo Zigbee podem ser classificados nas seguintes categorias:

- Domésticos: Sensores de umidade, temperatura, presença. Sistemas de segurança residencial, eletrodomésticos conectados (micro-ondas, geladeiras, etc.). Sistemas de iluminação inteligentes. Fechaduras com biometria.
- Esportivos: Sensores que detectam calorias gastas, quilômetros percorridos, batimentos cardíacos, etc. Dispositivos inseridos em equipamentos de proteção e roupas esportivas (chamados *wearables*).
- Médicos: Sensores destinados à medição e análise de diversos dados do corpo humano (batimentos cardíacos, temperatura corporal, impulsos nervosos), tecnologias implantadas sob a pele (microchips), marca-passos inteligentes.

Na seção a seguir são apresentadas exemplos de uso do Protocolo Zigbee.

Aplicações do protocolo Zigbee

Monitoramento de estação de tratamento de água

Sensores utilizados no monitoramento da qualidade de água (pH, turbidez, condutividade, oxigênio dissolvido) podem se comunicar com outros dispositivos através do protocolo Zigbee, utilizando para isso módulos eletrônicos e circuitos configurados para a transmissão e recepção de dados. Os sensores que realizam a leitura dos parâmetros repassam os dados para um micro-controlador, o qual converte os dados e os transmite por sinal sem fio. Os módulos utilizados podem ser reprogramados para funcionarem como dispositivos terminais, roteadores ou coordenadores, de acordo com as necessidades do local.

A estação receptora, que também funciona como nó coordenador, recebe os dados dos sensores (os *end devices*) e os envia a um computador, utilizando a entrada RS-232 (porta serial), exibindo os resultados numa interface gráfica. A figura 5 exhibe o painel gráfico dos sensores, roteadores e coordenador que forma a rede [11].

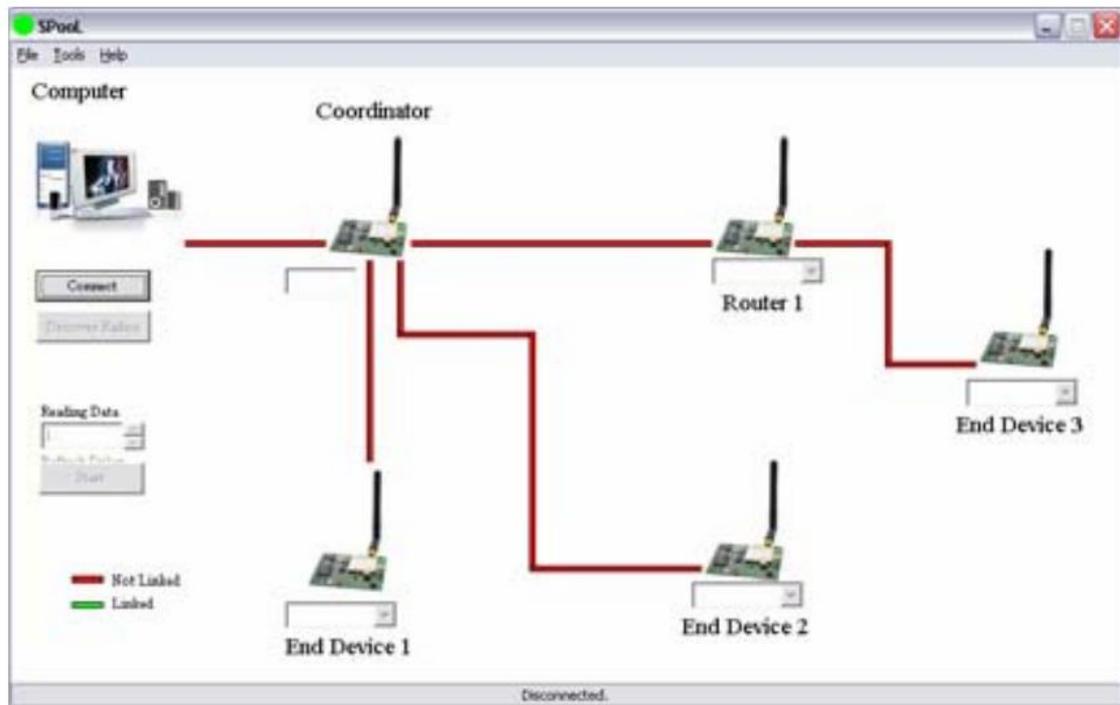


Figura 5 – Rede de sensores Zigbee [11]

Os dispositivos da rede funcionam com baterias de 9V, o que garante um funcionamento ininterrupto de 12 horas, mas por entrarem em modo suspenso e apenas transmitirem os dados a cada 30 minutos, a durabilidade das baterias é bem maior. O sinal é alcançado com uniformidade pelo nó coordenador a distâncias de 10 a 50 m. dos sensores, podendo atingir limites de 210m de distância na recepção. A figura 6 exemplifica resultados numéricos enviados pelos sensores para o computador ligado ao dispositivo coordenador [11].



Figura 6 – Resultados dos sensores [11]

Automação residencial: Philips Hue

A Philips Hue é uma tecnologia de iluminação que associa lâmpadas de LED com conexão via Internet e controle com aplicativos para smartphones. A proposta do produto é o total controle da iluminação residencial pela modificação da intensidade e das cores das luzes emitidas.

A regulagem das lâmpadas ocorre com o uso de um aparelho intermediário entre o smartphone e as lâmpadas, chamado de ponte. A ponte, conectada na Internet por rede cabeada ou sem fio, recebe os comandos de controle através do aplicativo instalado no smartphone do proprietário ou do sistema fornecido pelo fabricante através de um site, o qual disponibiliza um painel de controle após a autenticação do usuário. A ponte se comunica com um máximo de 50 lâmpadas através do protocolo ZigBee [12].

As lâmpadas da linha Hue e a ponte controladora são mostradas na Figura 7.



Figura 7 – Lâmpadas Philips Hue e ponte controladora [12]

A Philips disponibiliza uma interface que pode ser utilizada por programadores para desenvolver aplicativos e programas que interajam com a linha de lâmpadas. As opções variam entre facilidades para programação de aplicativos de smartphones e códigos para computadores convencionais em diversas linguagens, entre elas Java, Ruby, PHP e Python [13].

Sistema de monitoramento de incêndios florestais

Dispositivos utilizando Zigbee podem ser utilizados em áreas remotas, como florestas, no monitoramento de mudanças climáticas ou detecção de condições adversas, como incêndios, por exemplo.

Uma rede Zigbee para prevenção de incêndios florestais pode ser implantada com sensores de baixo custo e alta durabilidade. A rede composta por nós terminais, roteadores e coordenadores expande a abrangência da cobertura com relativa facilidade.

Os sensores são distribuídos aleatoriamente numa área determinada, os quais coletam parâmetros como umidade e temperatura locais. Estes sensores enviam os dados coletados a um dispositivo intermediário (*cluster head*), cuja função básica é a recepção de dados de uma determinada quantidade de sensores, o empacotamento dos dados e a transmissão para um dispositivo coordenador. A partir do dispositivo coordenador, os dados podem ser transmitidos via satélite ou outro meio de comunicação para os computadores da rede de monitoramento [14].

A figura 8 exibe uma topologia utilizada para a comunicação de sensores espalhados em uma floresta até a recepção final.

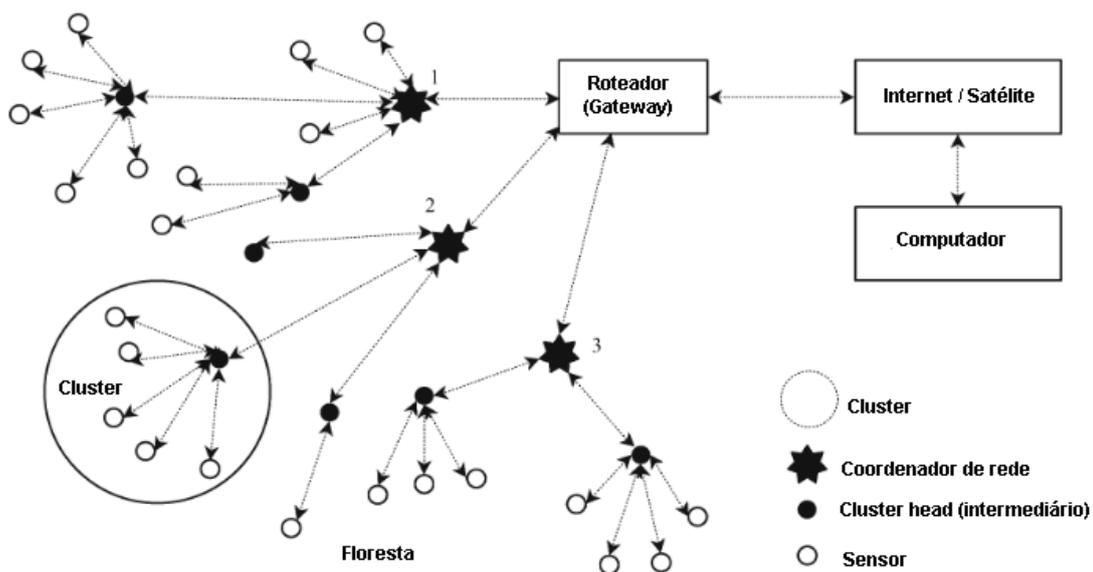


Figura 8 – Topologia dos sensores de monitoramento florestal [14]

O funcionamento desta rede é baseado em requisições ativas por parte de um computador, e de respostas passivas repassadas pelos sensores da rede. A requisição de dados é disparada de um computador e repassada ao roteador, o qual consulta a tabela de rotas e decide com qual coordenador de rede irá se comunicar.

O coordenador de rede escolhido, por sua vez, envia a requisição para os dispositivos intermediários, e estes ativam os sensores pertencentes ao seu *cluster*. Após os parâmetros serem lidos pelos sensores, os dados seguem o caminho inverso, devolvendo a resposta aos *cluster heads*, os quais integram os dados e repassam aos coordenadores de rede. A maioria dos nós permanece em estado suspenso para economizar energia e estender sua vida útil [14].

Internet das coisas: Tendências futuras

A expansão da conectividade via Internet dos computadores, smartphones e tablets no Brasil, o qual atingiu valores acima de 86 milhões de usuários em 2014, mostra que existe um grande nicho inexplorado para a implantação e promoção de tecnologias que visem o conforto e a praticidade na vida das pessoas [15]. Muitos projetos, inicialmente inventados como conceitos, já saíram das pranchetas e buscam mercado entre pessoas adeptas de novas tecnologias. Entretanto, o surgimento de novidades na área será uma

constante no futuro, dominando de forma crescente todos os aspectos da sociedade e se integrando ao ponto de se tornarem invisíveis ou comuns.

Como ainda é uma tecnologia recente, herda várias deficiências e problemas de tecnologias mais antigas, muitas das quais são omitidas em benefício das vendas e da novidade do produto. Entretanto, podem-se citar algumas deficiências que requerem atenção para prolongar a vida útil e o comércio de diversos dispositivos já disponíveis no mercado [16]:

- *Segurança*: Este problema ainda exige muito trabalho por parte de empresas dedicadas à segurança da informação, pois a complexidade dos softwares e hardwares atuais abrem brechas que podem ser utilizadas por atacantes para roubo de dados pessoais, vandalismo cibernético e comércio de informações;
- *Disponibilidade*: A expansão da Internet das coisas trará como consequência a maior necessidade de disponibilidade de conexão entre os dispositivos, já que um dispositivo desligado da Internet ou que pertença a uma rede com falhas não terá utilidade. Esta disponibilidade também está ligada ao acesso de recursos de rede e energia elétrica, devendo a infraestrutura de suporte se tornar também onipresente;
- *Privacidade*: Como a maioria dos dispositivos da categoria, a troca de informações pessoais requer de um nível de privacidade mais elevado. Ao mesmo tempo em que a acumulação de maior quantidade de informações sobre hábitos do usuário é benéfica para uma melhor prestação do serviço, também existe o perigo de roubo e suplantação de identidade por parte de criminosos. Legislações que protegem a privacidade ainda estão em fase de elaboração e não cobrem todos os casos, pois a tecnologia avança com muita rapidez;
- *Infraestrutura de armazenamento e centralização*: Na atualidade, a maioria dos serviços de maior utilização pelo público está concentrada nas mãos de poucas empresas, centralizando os dados em seus servidores e utilizando os mesmos da maneira mais conveniente a seus planos de negócio. Disputas judiciais, falências financeiras e outros fatores podem atentar contra a integridade dos dados confiados a essas empresas, ocasionando perdas para todos os clientes do serviço. Para a Internet das coisas, este cenário pode causar um impacto ainda mais negativo, pois dispositivos de aplicação restrita ou de aplicação crítica poderiam parar de receber suporte ou simplesmente parariam de funcionar.
- *Infraestrutura de rede*: A nova disposição dos dispositivos mudará certas formas de estruturação de rede, acostumada ao tráfego médio de equipamentos informáticos, dando lugar ao tráfego de enormes quantidades de pequenos dados gerados por inúmeros dispositivos espalhados pelo ambiente.

Empresas de pesquisa e desenvolvimento da área realizam constantes levantamentos sobre as tendências que mais vendem anualmente e, a partir disso, apontam possíveis rumos para os seguintes anos. Entre esses rumos, alguns destaques são [17]:

- Relógios de pulso inteligentes que apontem a localização de extintores próximos em caso de incêndio;
- Canetas que gravem informações do usuário e seu estilo de escrita, assim como decodifiquem a letra manuscrita;
- Micro-implantes em órgãos transplantados que monitorem o funcionamento e a saúde no interior do paciente;

- Sistemas de economia de água baseado em sensores que capturem a umidade ambiente e/ou recebam dados meteorológicos.

As grandes empresas do ramo tecnológico assinalam que a massificação deste tipo de dispositivos marca uma nova época, comparável com uma nova revolução industrial. Algumas características que as tecnologias futuras compartilharão são [18]:

- A tecnologia miniaturizada com software próprio será uma constante em quase todos os objetos de uso industrial ou doméstico;
- Haverá maior participação das tecnologias de informação verticalizadas (soluções tecnológicas específicas para um determinado setor) em detrimento de soluções de uso geral. Em termos de software, representam os aplicativos que são especializados em apenas uma tarefa específica, ao contrário de outros softwares utilizados para suprir a demanda em diversas áreas, como por exemplo o pacote Office, da Microsoft;
- Novos padrões de comunicação surgirão com o objetivo de intercomunicar dispositivos de diversos fabricantes e funcionalidades;
- A acumulação de dados será utilizada em tecnologias que antecipem comportamentos humanos baseado em experiências anteriores.
- Os sistemas serão autônomos e baseados em semântica, aproximando-se da compreensão da fala humana e na determinação das melhores soluções para os problemas apresentados.

Outros autores, entretanto, apontam que os esforços atuais na área da Internet das Coisas não refletem necessariamente tendências futuras. Muitos produtos, de simples conceitos a objetos fabricados e vendidos em lojas, fracassaram nos estágios iniciais pela baixa aceitação do público, o que estimula as empresas a ampliarem seus horizontes de pesquisa na busca do produto ou conceito que será sucesso de vendas [19]. Alguns casos que exemplificam o fracasso de produtos ocorreram com grandes multinacionais, como a falha de acesso aos controles e vídeo remoto de uma linha de câmeras residenciais fabricada pela Netgear, o que representou perdas de mais de 300 mil dólares nos dez dias que permaneceu indisponível. Esta indisponibilidade foi causada pela mudança repentina das APIs (*Application Programming Interface*) de conexão dos servidores da Amazon, os quais proviam a infraestrutura de acesso aos clientes das câmeras, o que acaba minando a confiança do consumidor e espalha dúvidas sobre a infraestrutura e a disponibilidade dos serviços em longo prazo [20].

Considerações finais

Desde a criação da ARPANET, com seus poucos mainframes conectados entre si, até a criação e adoção das tecnologias que compõem a Internet das Coisas e que interligam bilhões de dispositivos diferentes, a evolução da eletrônica, da informática e das redes ampliaram os horizontes a tal ponto que, a cada dia, novos produtos são criados e colocados no mercado. Existem ainda vastos nichos não explorados em termos de comunicação e conectividade, enquanto outros já oferecem diversas opções e se consolidam como soluções reconhecidas em suas áreas.

Além do protocolo Zigbee, outros protocolos foram criados recentemente, como o Z-Wave, o Thread, o Sigfox e o Neul, dentre outros, e disputam espaço na adoção por parte de empresas interessadas em fabricar dispositivos com conectividade. Porém, alguns protocolos possuem limitações técnicas ou mesmo de disponibilidade, como por

exemplo o Z-Wave, que possui apenas um fabricante de chips compatível com o protocolo [26]. O protocolo Zigbee se mostra mais adaptável e expandido entre empresas de tecnologia e é promovido por grandes multinacionais como a Philips, Texas Instruments, AT&T, Bosch, Cisco, LG, e outros [27].

É importante também destacar que um fator vital para o aumento massivo de dispositivos conectados e a expansão atual da Internet das Coisas é a popularização do IPv6, graças ao qual é possível endereçar um enorme número de dispositivos de modo único na rede sem o receio de esgotamento de endereços. Isto não seria possível com IPv4, pois sua quantidade limitada de endereços tem esgotado nos últimos anos pela explosão de usuários da Internet, um cenário que não era previsto nos primórdios da criação do IPv4, na década de 1980 [2][21].

Tanto o IPv4 como o IPv6 são protocolos utilizados pelos computadores para se comunicarem entre si, através de redes telefônicas, cabos de fibra óptica ou sinais de rádio. Enquanto o primeiro foi estipulado em 1981 e suporta um endereçamento de 32 bits (o que representa quatro bilhões de dispositivos conectados, aproximadamente), o IPv6 foi descrito em 1995 e oficializado em 2012, suportando endereçamentos de 128 bits e permitindo 34×10^{37} dispositivos conectados, permitindo um número muito maior de máquinas transmitindo informações entre si. A transição para o uso do IPv6 ocorre desde 2012 a nível mundial e continua em expansão, entretanto, será mantido o IPv4 por razões de compatibilidade até que todos os dispositivos utilizem o novo protocolo [23].

Apesar de ser um mercado novo se comparado com outros mais estabelecidos, a adoção de produtos com conectividade tem sido bem recebido em ambientes comerciais e industriais, assim como por consumidores finais, embora com mais cautela. As empresas que promovem tais dispositivos investem cada vez mais em desenvolvimento e investigações que mostrem os rumos a serem tomados e as necessidades que precisam ser supridas em diversos campos de atuação. Hoje em dia a Internet das Coisas é uma parte intrínseca da Internet e caminha para um futuro onde a maioria dos dispositivos estarão conectados entre si, mudando os parâmetros do entorno em que vivemos e podendo contribuir para a qualidade de vida das pessoas.

Recursos

- [1] ROUSE, Margaret. *Internet of Things (IoT)*, 2014. Disponível em <<http://whatis.techtarget.com/definition/Internet-of-Things>>. Acesso em 11-06-2015.
- [2] ROMEDER, Stephan. *Dez aplicações possíveis do conceito de Internet das Coisas em PMEs*, 2015. Disponível em <<http://computerworld.com.br/dez-aplicacoes-possiveis-do-conceito-de-internet-das-coisas-em-pmes>>. Acesso em 07-04-2016.
- [3] STEWART, William. *TCP/IP Internet Protocol*, 2000. Disponível em <http://www.livinginternet.com/i/ii_tcpip.htm>. Acesso em 07-04-2016.
- [4] RUBIN, Julian. *Internet Milestones - Timeline of Notable Internet Pioneers and Contributions*, 2013. Disponível em <http://www.julianrubin.com/schooldirectory/internet_milestones_pioneers.html>. Acesso em 07-04-2016.
- [5] ASHTON, Kevin. *That 'Internet of Things' Thing*, 2009. Disponível em <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>>. Acesso em 22-03-2016.
- [6] CARNEGIE MELLON University Computer Science Department. *The "Only" Coke Machine on the Internet*. 2005. Disponível em <https://www.cs.cmu.edu/~coke/history_long.txt>. Acesso em 11-06-2015.
- [7] HARRESTIEN, K. *Name/Finger Protocol – RFC742*, 1977. Disponível em <<https://tools.ietf.org/html/rfc742>>. Acesso em 30-06-2015.
- [8] University of Western Australia. *Drink Machine*, 2009. Disponível em <<https://www.ucc.asn.au/services/drink.ucc>>. Acesso em 12-06-2015.
- [9] The Zigbee Alliance, 2015. Disponível em <<http://www.zigbee.org/zigbeealliance/join/>>. Acesso em 10-07-2015.
- [10] DIGNANNI, Jorge Pablo. *Análisis del protocolo Zigbee*, 2011. Disponível em <http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Especializaciones/Redes_y_Seguridad/Trabajos_Finales/Dignanni_Jorge_Pablo.pdf>. Acesso em 28-03-2016.
- [11] RASIN, Zulhani; ABDULLAH, Mohd Rizal. *Water Quality Monitoring System Using Zigbee Based Wireless Sensor Network*, 2009. Disponível em <http://eprints.utem.edu.my/8648/1/91410-7575_ijet-ijens.pdf>. Acesso em 28-03-2016.
- [12] PHILIPS. *Hue Personal Wireless Lighting*. Disponível em <<http://www2.meethue.com/pt-br/o-que-%C3%A9-a-hue/o-sistema/>>. Acesso em 28-06-2015.
- [13] PHILIPS. *Hue Developer Program*. Disponível em <<http://www.developers.meethue.com/tools-and-sdks>>. Acesso em 28-06-2015.

- [14] ZHANG, Junguo; LI, Wenbin; HAN, Ning; KAN, Jiangming. *Forest fire detection system based on a ZigBee wireless sensor Network*, 2008. Disponível em <<http://www.oscare.fr/data/actualite/20120129FICHE0652.pdf>>. Acesso em 28-03-2016.
- [15] NASCIMENTO, Rodrigo. *O que, de fato, é internet das coisas e que revolução ela pode trazer?*, 2015. Disponível em <<http://computerworld.com.br/negocios/2015/03/12/o-que-de-fato-e-Internet-das-coisas-e-que-revolucao-ela-pode-trazer>>. Acesso em 04-05-2015.
- [16] EssenceIT. *Oito desafios da Internet das Coisas*, 2014. Disponível em <<http://essenceit.com/oito-desafios-da-Internet-das-coisas>>. Acesso em 04-05-2015.
- [17] CLEVERISM. *The Internet of Things | The Future of Data*. Disponível em <<https://www.cleverism.com/internet-of-things-future-data/>>. Acesso em 12-06-2015.
- [18] SIEMENS. *Internet of Things - The Next Network*, 2014. Disponível em <<http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/digitalization-and-software/Internet-of-things-embedded-systems.html>>. Acesso em 12-06-2015.
- [19] NEWMAN, Jared. *Right Now, The Internet Of Things Is Like The Internet Of The 1990s*, 2015. Disponível em <<http://www.fastcompany.com/3044375/sector-forecasting/the-future-of-the-Internet-of-things-is-like-the-Internet-of-the-1990s>>. Acesso em 14-06-2015.
- [20] DECAPPUA, Todd. *NETGEAR's VueZone IoT failure leads to home insecurity*, 2015. Disponível em <<http://techbeacon.com/netgears-vuezone-iot-failure-leads-home-insecurity>>. Acesso em 01-06-2015
- [21] Information Science Institute. *Internet Protocol – RFC 791*, 1981. Disponível em <<http://tools.ietf.org/html/rfc791>>. Acesso em 11-06-2015.
- [22] NICBR - Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR. *Introdução ao ipv6*, 2012. Disponível em <<http://ipv6.br/post/introducao/>>. Acesso 30-06-2015.
- [23] Wikimedia Commons. *RFID Tag*. Disponível em <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Blue_and_Purple_RFID_tag.jpg>. Acesso em 16-06-2015.
- [24] Heart, F., McKenzie, A., McQuillian, J., and Walden, D., *ARPANET Completion Report*, 1978. Disponível em < <http://som.csudh.edu/cis/lpress/history/arpamaps/>>. Acesso em 05-04-2016.
- [25] National Institute of Standards and Technology. *Specification for the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES)*, 2001. Disponível em <<http://www.csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf>>. Acesso em 15-04-2016.

[26] *11 Internet of Things (IoT) Protocols You Need to Know About*, 2015. Disponível em <<http://www.rs-online.com/designspark/electronics/knowledge-item/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about>>. Acesso em 15-04-2016.

[27] Zigbee Alliance. Disponível em <<http://www.zigbee.org/zigbeealliance/our-members/>>. Acesso em 15-04-2016.

Sobre os autores



Rodrigo Daniel Castiglioni Agüero é aluno da Universidade Federal da Grande Dourados, no curso de Bacharel em Sistemas de Informação.



Janne Y. Y. Oeiras Lachi é professora da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal da Grande Dourados. Possui graduação em Ciência da Computação (1996) pela Universidade Federal do Pará e mestrado (1998) e doutorado (2005) em Ciência da Computação pela Universidade Estadual de Campinas. Suas principais áreas de atuação são em Interface humano-computador e Informática na Educação. Informações adicionais podem ser obtidas em <http://lattes.cnpq.br/4841091240487161>.