



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

**ULBRA**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**Gabriel do Couto Seabra Gusmão de Paula**

**MODELO DE INTERNET DAS COISAS PARA O PARQUE ESTADUAL  
DO CANTÃO**

**Palmas - TO**

**2015**

**Gabriel do Couto Seabra Gusmão de Paula**  
**MODELO DE INTERNET DAS COISAS PARA O PARQUE ESTADUAL**  
**DO CANTÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Sistemas de Informação pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Profa. M.Sc. Parcilene Fernandes de Brito.

**Palmas - TO**  
**2015**

**Gabriel do Couto Seabra Gusmão de Paula**  
**MODELO DE INTERNET DAS COISAS PARA O PARQUE ESTADUAL**  
**DO CANTÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Sistemas de Informação pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Profa. M.Sc. Parcilene Fernandes de Brito.

**Aprovada em: 08 de Dezembro de 2015.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. M.Sc. Parcilene Fernandes de Brito  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Dr. Edeilson Milhomem  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. M.Sc. Fabiano Fagundes  
Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas - TO**  
**2015**

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me auxiliaram nas minhas escolhas, apoiaram minhas decisões e foram cruciais para todos os aspectos positivos da minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais que em todos os momentos estiveram presentes e incondicionalmente dispostos a me auxiliarem nas minhas ideias e escolhas, apoiando minhas decisões e me ajudando a alcançar meus objetivos acadêmicos, profissionais e pessoais. Com carinho, respeito e bons exemplos eles me passaram valores que formaram a pessoa que sou hoje. Eu amo vocês e orgulho-me todos os dias de tê-los como pais. Muito obrigado por tudo!

Agradeço aos meus irmãos que mesmo tão pequenos e distantes de mim, foram fonte de incentivo para eu continuar no meu caminho para que um dia, quem sabe, eu possa servir de exemplo para eles. Muito obrigado, Gigi (Giovana) e Lucas! Amo vocês e estou com saudades!

De forma geral, agradeço aos professores do curso de Sistemas de Informação e Ciência da Computação do CEULP/ULBRA pelo o apoio desde o primeiro dia de aula acreditando na capacidade de seus alunos, incentivando-os a se esforçarem ao máximo para alcançarem suas metas acadêmicas.

À Profa. Cristina Filipakis (que segundo conversas de corredor é a Miss Labins) por sua característica metódica, mas ao mesmo tempo extrovertida, fazendo com que apresentações de disciplinas sejam um pouco menos tensas. Cris, obrigado por tudo que você me ajudou durante a graduação, por ser uma ótima professora e amiga.

Ao Prof. Edeilson Milhomem (conhecido como Ed) que sempre tem uma piadinha preparada para soltar, mas que entre momentos de descontração conseguiu me auxiliar com *insights* interessantes para minha pesquisa e para os meus projetos extra classe.

Ao Prof. Fabiano Fagundes, agradeço pela a amizade com direito a “puxão de orelha”, risadas, profissionalismo e a constante disponibilidade para ajudar no que fosse possível, até mesmo corrigir meu trabalho de Estágio em um domingo, fim de ano, às 23hrs, como ele o fez. Muito obrigado, professor!

À minha orientadora e professora Parcilene Fernandes de Brito, ou simplesmente “pfb”, que entre suas infinitas reuniões, atividades do doutorado e atividades administrativas conseguia sempre um espaço de tempo para discutirmos sobre este trabalho e tomarmos um café. Obrigado por não desistir do projeto ou de mim e por todas as madrugadas de correções e por vídeos/fotos como forma de exemplificar quão perturbado eu estava por ter escrito determinada frase no texto. Obrigado por me forçar a perceber que palavras não são simplesmente palavras, que cada uma possui um peso e um significado diferente que pode transformar um texto.

Ao Prof. Jackson Gomes que está sempre ocupado, mas igualmente disponível para tirar qualquer dúvida sobre qualquer tema, um verdadeiro *MacGyver* da computação tendo conhecimento sobre boa parte das matérias e com poder de abstração, disciplina e determinação de servir de exemplo a qualquer um. Eu gostaria de agradecê-lo por todas nossas conversas técnicas e não-técnicas pois sempre me ajudaram em algum aspecto trazendo sempre uma visão diferente das coisas.

Ao Prof. Fernando que mesmo sem muito contato pude perceber ser um cara a se contar a todo tempo, divertido e disposto a ajudar no que estiver às suas mãos. Seja fisicamente carregando cadeiras no encontro de alunos do curso ou virtualmente com suas correções “sutis” (kkkkkk).

À Profa. Madianita por suas aulas extremamente explicativa e seus manuais completíssimos que davam vontade de simplesmente “rodar” o arquivo para que as configurações de redes de computadores simplesmente acontecessem. E por nos ensinar a nunca conversar ou sorrir dentro de uma sala de aula com o professor dentro (kkkkkkk).

Em resumo, muito obrigado a todos os professores pela amizade de vocês e por acreditarem em mim desde o começo.

Eu gostaria de agradecer também ao Victor Eduardo, Djonathas Cardoso e ao Sérgio Barros por serem os meus companheiros de guerra durante a maior parte do curso em forma de trabalhos em grupo para diversas disciplinas.

Aos amigos da coordenação de Labins do CEULP/ULBRA: Andrew, Octavio, Silas, Gabriel Aires, Soraia, Yan, Maciel, Pedro, Leonardo e Alexandre que cumpriam meus deveres para que eu pudesse concluir este projeto e proporcionando um ambiente para descontração em momentos críticos de “travamento mental”.

Por último, mas não menos importante, à minha namorada Verena Schultz em que estive ao meu lado até mesmo nos momentos de desânimo com este trabalho, me dando carinho e força de vontade para enfrentar as barreiras encontradas e que só foram resolvidas por incentivo dela, madrugadas de pesquisa e café. Muito obrigado, minha linda.

## RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de Internet das Coisas (IoT) para o Parque Estadual do Cantão (PEC) fornecendo como exemplo o monitoramento da temperatura e umidade a fim de proporcionar dados para mensuração do estado de conservação do Parque. Neste trabalho é apresentado a contextualização de IoT, a metodologia utilizada para a elaboração do Modelo de IoT e o Modelo de IoT para o PEC. A metodologia é composta por etapas abordando *hardware*, viabilidade ambiental, definição de *softwares* e definição de regras de alerta. Por meio de entrevistas com funcionários do órgão governamental responsável pela administração do PEC, pesquisadores de ONGs atuantes no PEC e biólogo, foi possível identificar os problemas do Parque e planejar uma solução utilizando IoT. Com isso, foi seguida a metodologia desenvolvida fazendo com que consequentemente fossem elaborados: diagrama de serviço, diagrama de conectividade e fluxo de dados da solução, regras para alertas baseadas nos dados obtidos e a definição de *softwares* para utilização na solução. Ao fim, é apresentado o Modelo de IoT para o PEC e uma seção para trabalhos futuros.

**PALAVRAS-CHAVE:** internet of things, parque estadual do cantão, unidade de conservação

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Domínios da M2M.....	8
Figura 2 - Exemplo de aplicação M2M .....	9
Figura 3 - Topologia Estrela.....	11
Figura 4 – Árvore de <i>clusters</i> utilizando <i>peer-to-peer</i> .....	12
Figura 5 – Adaptada de Atzori, Iera e Morabito (2010). Visões da IoT .....	17
Figura 6 – Arquitetura de três camadas .....	23
Figura 7 – Camadas da arquitetura orientada a serviços .....	24
Figura 8 – Locais de Implantação dos sensores (XIAOCHUAN <i>et al.</i> , 2010).....	27
Figura 9 – <i>Canvas</i> para IoT elaborado pela Claro Partners (2014).....	32
Figura 10 - <i>Cards</i> apresentados pela Claro Partners para elaboração do diagrama de serviço do <i>Canvas</i> para <i>IoT</i> .....	33
Figura 11 – Processo para a definição de um modelo de IoT.....	34
Figura 12 - Funcionamento da IoT no PEC.....	38
Figura 13 – <i>Canvas</i> para IoT adaptado para unidades de conservação. Adaptado de Partners	41
Figura 14 – <i>Canvas</i> para IoT adaptado para o contexto ambiental .....	43
Figura 15 – Diagrama de Serviço de Aplicação do Monitoramento de Umidade e Temperatura do PEC .....	46
Figura 16 – Diagrama de Conectividade da solução .....	49
Figura 17 – Fluxo de dados da solução .....	52
Figura 18 - Exemplo de string para a transmissão por XBees .....	53
Figura 19 – Estrutura da representação da data e hora .....	53
Figura 20 – Representação do Modelo de IoT para o PEC .....	57

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Estudo de Impacto Ambiental .....	41
Tabela 2 – Consumo elétrico de cada elemento .....	50

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

PEC	Parque Estadual do Cantão
IoT	Internet of Things
M2M	Machine to Machine
WSN	Wireless Sensor Network
IPv4	Internet Protocol v4
IPv6	Internet Protocol v6
ETSI	European Telecommunications Standarts Institute
P2P	Peer-to-Peer
RFID	Radio-Frequency Identification
NFC	Near Field Communications
CN	Computação em Nuvem
SOA	Service Oriented Architecture

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1	<b>Internet das Coisas.....</b>	<b>7</b>
2.1.1	<b>Contexto Histórico.....</b>	<b>7</b>
2.1.2	<b>Definições de Internet das Coisas.....</b>	<b>14</b>
2.1.3	<b>Visões.....</b>	<b>17</b>
2.2	<b>Características.....</b>	<b>19</b>
2.3	<b>Arquiteturas.....</b>	<b>22</b>
2.3.1	<b>Arquitetura de Três camadas.....</b>	<b>22</b>
2.3.2	<b>Arquitetura Orientada a Serviços.....</b>	<b>24</b>
2.4	<b>Trabalhos Relacionados.....</b>	<b>26</b>
2.4.1	<b>Rede de sensores sem fio para monitoramento florestal.....</b>	<b>26</b>
2.4.2	<b>Uma metodologia para construção da internet das coisas.....</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1	<b>Objeto de estudo.....</b>	<b>31</b>
3.2	<b>Materiais.....</b>	<b>31</b>
3.3	<b>Procedimentos.....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
4.1	<b>Ideação.....</b>	<b>39</b>
4.2	<b>Comunicação.....</b>	<b>47</b>
4.3	<b>Contenção de riscos.....</b>	<b>50</b>
4.4	<b>Processamento e apresentação.....</b>	<b>52</b>
4.5	<b>Modelo.....</b>	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>60</b>
5.1	<b>TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia vem há anos trazendo benefícios à sociedade em diferentes formas: agilidade, facilidade, conforto, automação, entre outros. Com o advento de recursos disponibilizados através da tecnologia computacional, pode-se atualmente efetuar ações que rompem limites geográficos, físicos e temporais, desde microcirurgias de alta precisão a viagens espaciais; o que representa um marco para a evolução e história do ser humano.

Com a popularização da tecnologia computacional, alguns fatores como facilidade de acesso à internet e a produtos eletrônicos permitiram o desenvolvimento do conceito “Internet das Coisas” (IoT) que para Vermesan *et al* (2013, p. 7–8, tradução nossa) é:

Um conceito e um paradigma que considera a presença pervasiva no ambiente de uma variedade de coisas/objetos que através da conexão da rede sem fio ou com fio e esquemas de endereçamento único permitem interagir uns com os outros e cooperar com outras coisas/objetos para criar novas aplicações/serviços e alcançar objetivos em comum

Não diferentemente das outras áreas, o Meio Ambiente também usufrui de recursos tecnológicos para auxílio da proteção e combate a irregularidades, como a utilização de satélites meteorológicos para monitoramento de incêndios florestais e sistemas de administração de áreas de proteção ambiental. Assim como satélites são recursos tecnológicos para obter informações sobre planetas, galáxias e o espaço sideral, a IoT é um recurso para obter informações sobre situações, ambientes e pessoas; podendo ser aplicado a diversos contextos, como por exemplo, em áreas de proteção ambiental.

O Parque Estadual do Cantão é uma unidade de conservação ambiental de caráter de proteção integral – não permite exploração de recursos naturais diretamente - conforme Lei 9.985, artigo 11 BRASIL (2000) e que foi criado pelo Governo do Estado do Tocantins, Brasil, no ano de 1998 por meio da Lei 996 TOCANTINS (1998) a fim de preservar as belezas cênicas e o ecossistema natural da região.

O PEC, segundo o Plano de Uso Público do Parque Estadual do Cantão CONSAM (2004, p. 6), “primeiro parque estadual do Tocantins, é uma das áreas protegidas mais importantes da Amazônia brasileira” devido a sua riqueza biológica, bom estado de preservação, recurso crítico para a alimentação e reprodução de populações de peixe do médio Araguaia e pela facilidade de acesso CONSAM (2004, p. 6).

Localizado próximo ao município de Caseara – TO, o PEC é uma unidade de conservação importante para a biodiversidade brasileira, pois o parque é um “ecótono complexo com elementos da Floresta Amazônica, do Cerrado, do Pantanal e da Mata Atlântica” CONSAM (2004, p. 6) contendo cerca de 800 lagos dos 1.100 existentes no médio

Araguaia, tornando assim, o principal ambiente para reprodução dos peixes da região – médio Araguaia.

Com uma rica fauna, o PEC protege 325 espécies de aves, 299 espécies de peixes – tornando a unidade de conservação com maior quantidade de espécies de peixes do Brasil –, a maior população de boto Araguaia e a maior população de ariranhas restante do centro brasileiro NATURATINS (2015).

Segundo Leão e Leite (2015), um dos problemas enfrentados pelo Parque Estadual do Cantão é o desmatamento de áreas próximas ao parque estadual, o que ameaça o controle natural do clima interno da área de proteção, e que conforme afirmado por Lima-Ribeiro (2008, p. 535–536), as alterações no entorno de um fragmento de floresta podem ameaçar a existência de seres vivos que não conseguem se adaptar a regiões próximas à borda da área de proteção ambiental.

Utilizando dispositivos com capacidades perceptivas do ambiente e que possam ser aplicados a uma solução de IoT, novos dados referentes ao Parque Estadual do Cantão podem ser obtidos e fornecidos para a administração do Parque. Tais dados podem ser utilizados para diversos fins:

- gerenciamento de recursos: com dispositivos inteligentes integrados aos recursos utilizados pelo Parque Estadual do Cantão (ex.: embarcações, veículos, depósitos e equipamentos de trabalho), é possível executar o gerenciamento de recursos de forma mais otimizada, podendo identificar os recursos disponíveis dentro do depósito, o combustível disponível em cada embarcação, a localização de cada veículo e identificar a presença de determinados equipamentos de trabalho dentro das instalações do Parque;
- acompanhamento ambiental (climático, fauna e flora): utilizando dispositivos com capacidades perceptivas do ambiente é possível mensurar dados ambientais como temperatura do ar, umidade, precipitação, temperatura da água, componentes do solo e gases presentes no ar, assim como a estimativa da localização de animais dentro da mata utilizando sensores infravermelhos ou identificadores acoplados a cada animal;
- monitoramento de incêndios: utilizando de recursos de dispositivos capazes de obter informações de temperatura do ar, é possível montar um monitoramento de incêndio em que a partir de elevação repentina da temperatura (de um conjunto de dispositivos) indica a existência de um incêndio tendo essa informação automaticamente informada aos responsáveis do PEC.

A fim de fornecer informações relevantes para a administração do PEC que possam contribuir para o monitoramento e defesa do ecossistema presente na área de proteção ambiental, o

presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo de IoT adaptado ao contexto de uma área de proteção ambiental, levando em consideração características naturais que possam influenciar na execução de uma solução utilizando a IoT. Para tal, este trabalho possuiu como objetivos a identificação de informações que sejam relevantes para o contexto, elaboração de uma solução utilizando Internet das Coisas para o Parque, definição de regras que executem ações no modelo e, escolha de tecnologias, equipamentos e arquitetura a compor o modelo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com a constante evolução das áreas de pesquisas, novas práticas, técnicas, abordagens e tecnologias são desenvolvidas, sendo a IoT um conceito influenciado por um conjunto de evoluções, tais como: comunicação M2M – *Machine-to-Machine* –, WSN – *Wireless Sensor Network* – e computação ubíqua, que viabilizaram a aplicação do conceito.

Este capítulo descreve tecnologias importantes para o desenvolvimento da IoT, além de suas características e sua arquitetura, finalizando com a apresentação de trabalhos relacionados a este.

### 2.1 Internet das Coisas

#### 2.1.1 Contexto Histórico

O progresso na indústria de semicondutores proporcionou ao mercado nas últimas décadas a diminuição constante dos custos de produção de produtos eletrônicos, o que incentivou o consumo destes produtos e fomentou a popularização da tecnologia. Junto ao crescente uso de dispositivos eletrônicos está associada a comunicação entre estes dispositivos, que proporciona novas possibilidades de negócios e soluções, sendo o *Internet Protocol* (IP) um dos fatores primordiais para o avanço da comunicação eletrônica.

Desenvolvido para atender a primeira rede de computadores do mundo – ARPANET, rede de *mainframes* de universidades americanas –, o protocolo IP versão 4 (IPv4) marcou a história da comunicação entre computadores e possibilitou a criação da Internet, pois permitiu que computadores por meio de cabos – independente de distância – pudessem trocar informações.

Porém, segundo IPv6.br (2012a), mesmo que o protocolo IPv4 seja robusto e utilizado até hoje, o projeto inicial não previu aspectos como:

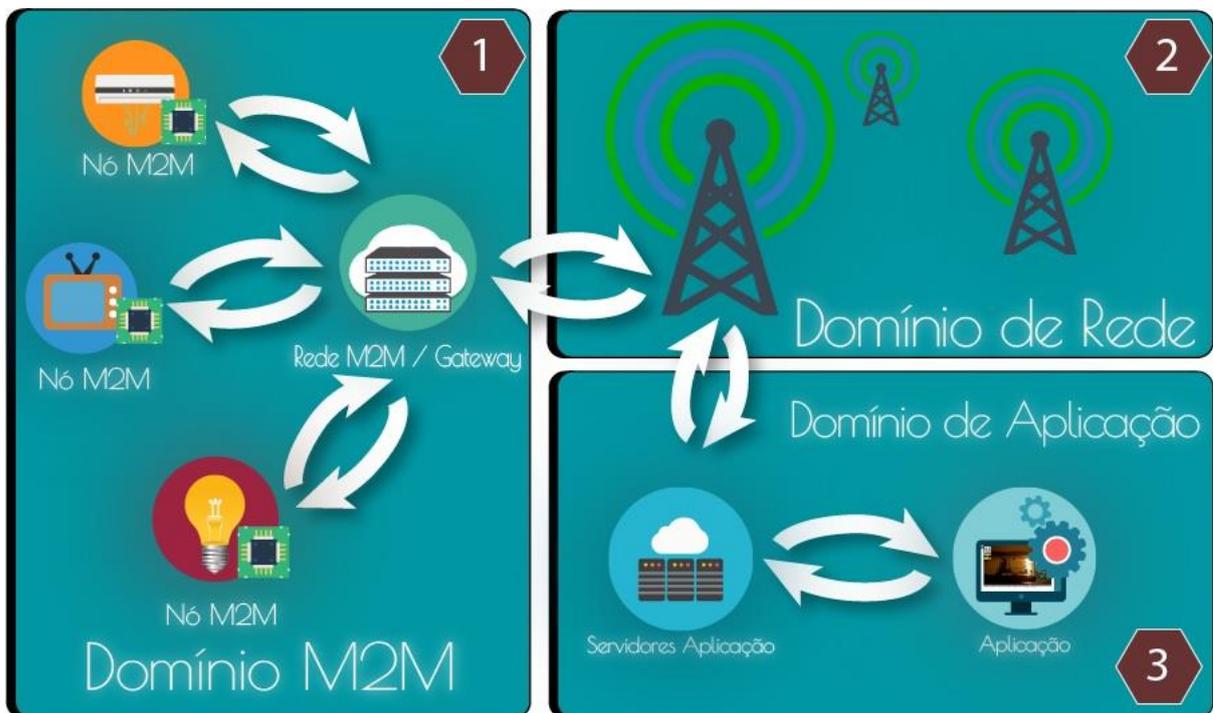
- O crescimento das redes e um possível esgotamento dos endereços IP;
- O aumento da tabela de roteamento;
- Problemas relacionados a segurança dos dados transmitidos;
- Prioridade na entrega de determinados tipos de pacotes.

Com a identificação dos problemas citados acima, iniciaram-se pesquisas para solucioná-los, o que resultou na versão 6 do protocolo IP (IPv6), que tem como principal característica o maior espaço de endereçamento. Com o IPv6 será possível fornecer cerca de 56 octilhões de endereços por ser humano na Terra, considerando 6 bilhões de habitantes,

diferentemente do IPv4 que possui como total de endereços possíveis próximo a 4 bilhões IPv6.br (2012b).

O protocolo IP é o principal protocolo de comunicação da Internet e, por consequência, o principal meio de comunicação entre dispositivos de soluções M2M, o que possibilita a troca de mensagens entre os elementos da solução permitindo seu controle remoto.

Segundo Hottler *et al* (2014), “M2M (*machine-to-machine*) refere àquelas soluções que permitem comunicação entre dispositivos do mesmo tipo e em uma aplicação específica, seja comunicação com fio ou sem fio”, sendo essa comunicação bastante utilizada por monitoramento remoto de pacientes, vigilância residencial e automação industrial Lu et al. (2011). Até 2009 não havia padronização sobre como devia ser a infraestrutura de um modelo M2M até que a ETSI (*European Telecommunications Standarts Institute*) estabeleceu um comitê técnico com o propósito de desenvolver uma arquitetura completa para a comunicação M2M, conforme BOJKOVIC *et al* (2009). A ETSI definiu a arquitetura em três domínios interligados: M2M, Rede e Aplicação Lu et al. (2011) conforme ilustrado pela Figura 1.

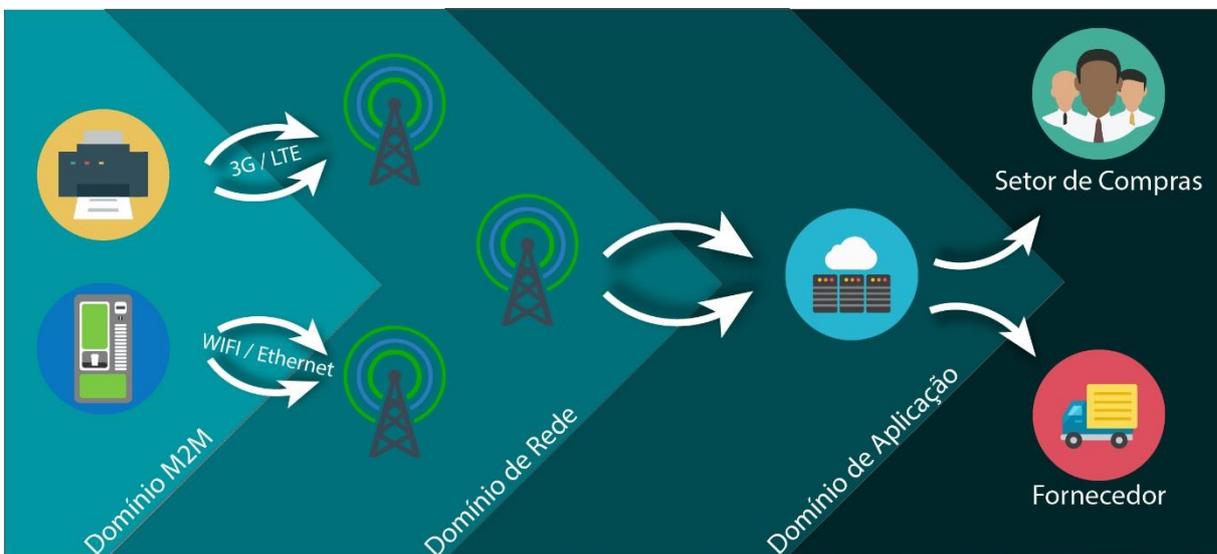


**Figura 1 - Domínios da M2M**

De acordo com a ilustração da Figura 1, os três quadros da figura representam os domínios da M2M: 1 – Domínio M2M, 2 – Domínio de Rede e 3 – Domínio de Aplicação. Os quadros apresentados pela Figura 1 indicam o fluxo do tráfego de informações, sendo respeitadas a ordem de transmissão: nós M2M captam as informações [quadro 1], enviam

para o domínio de rede [quadro 2] que repassa os dados para o domínio de aplicação [quadro 3]. O domínio M2M é caracterizado por possuir um conjunto de dispositivos eletrônicos com capacidade sensível, independentemente da complexidade, que extraia, processe e envie os dados do ambiente – como sensores ambientais de uma indústria –, para um *gateway* de rede.

É importante destacar duas características dos domínios M2M: 1 – em modelos M2M, não existe a preocupação de que os dispositivos (nós M2M) sejam “invisíveis”; e 2 – toda a comunicação entre elementos da arquitetura é bidirecional, ou seja, os nós enviam dados para o *gateway* assim como recebe instruções pelo mesmo *gateway*, sendo essa comunicação bidirecional válida para todas as ligações representadas pela Figura 1. A próxima etapa do tráfego de dados do modelo M2M é a transferência de dados do *gateway* para o domínio de rede, seja ele de nível local, como redes locais, ou até mesmo redes de longo alcance, como cobertura de celular ou links de satélites, sendo o domínio de rede responsável pela transmissão dos dados do domínio M2M para o domínio aplicação. O domínio aplicação é a etapa em que os servidores recebem e manipulam os dados a fim de gerar informações pertinentes ao contexto, como gráficos, análises, compilações de dados, associações, entre outros.



**Figura 2 - Exemplo de aplicação M2M**

Conforme exemplificado por ETSI (2013) e apresentado na Figura 2, uma das áreas de aplicação para o paradigma Machine-to-Machine é a área de soluções empresariais, seja de automação ou monitoramento. Em um dos casos exemplificados – ilustrado pela Figura 2 – existe a necessidade de controle de suprimentos de uma impressora e de uma máquina automática de vendas – de café, chocolate ou outro produto que ao inserir o dinheiro na máquina, e escolher o modelo do produto, a máquina o disponibiliza imediatamente.

No exemplo citado, a impressora e a máquina de vendas automáticas possuem dispositivos M2M acoplados aos seus suprimentos, para que seja acompanhado o nível ainda existente, sendo que, ao alcançar a quantidade definida pelo interessado, os dispositivos M2M disparam uma mensagem para o domínio de rede utilizando redes sem fio ou com fio informando o baixo nível de suprimentos. Ao receber a mensagem, o domínio de rede transmite a informação para os servidores de aplicação para ser executada as ações necessárias, que pode ser encaminhar uma solicitação de aquisição de produtos para o setor de compras ou solicitar diretamente para o fornecedor para a solução da situação.

Com o avanço da comunicação entre dispositivos, da computação e da indústria de semicondutores, foi possível presenciar a entrada de produtos com tecnologia sem fio no mercado para usuários finais. Com os custos de produção de semicondutores diminuindo, está sendo possível o acesso a tecnologias de comunicação sem fio e sua integração com dispositivos sensoriais estão sendo comumente utilizadas, e em grande volume, o que se denomina Rede de Sensores Sem Fio – Wireless Sensor Network, WSN – e que vem permitindo soluções que antes eram pouco ou não alcançadas.

Segundo Labs (2013), o termo *Wireless Sensor Network* originou-se do termo Rede de Sensores Distribuídos (*Distributed Sensor Network*, DSN) que foi um programa militar do Estados Unidos nos anos 80. O DSN tinha como objetivo explorar as tecnologias de rede de sensores de forma distribuída e sem fio, pois nos anos 50 o exército americano implantou um sistema de monitoramento sonoro submerso em partes dos oceanos Pacífico e Atlântico, para identificar submarinos soviéticos.

Com o apoio de instituições de ensino superior e outras entidades do governo americano, foram quebradas barreiras de engenharia tornando a tecnologia de rede de sensores sem fio cada vez mais acessível – financeiramente –, permitindo que esta tecnologia pudesse ser utilizada em ambientes industriais e até mesmo por consumidores pessoa-física.

Segundo Buratti *et al* (2009, tradução nossa), “uma WSN pode ser definida como uma rede de dispositivos, denominados nós, que percebem o ambiente e comunica a informação obtida do campo monitorado através de ligações sem fio”. Em uma WSN, um dos elementos chave são os nós. Estes dispositivos possuem os elementos sensoriais junto com um controlador, um dispositivo de transferência sem fio e a fonte de energia. Outra característica das WSN é a necessidade dos nós serem autônomos, pois normalmente os ambientes em que são aplicadas são de difícil acesso e não permitem constante monitoramento físico – acesso aos dispositivos – o que requer que os nós tenham que trabalhar sozinhos para atingirem seus objetivos. A estrutura de uma WSN é composta por

elementos nós e *gateways* que, de acordo com o escopo IEEE 802.15.4 de rede sem fio, trabalham em uma das duas topologias: estrela ou ponto-a-ponto.

A topologia estrela (*star*) é recomendada para áreas de menor dimensão e que possuem como fator crítico a latência das transmissões de dados Buratti et al. (2009). Basicamente esta topologia estipula que os nós distribuídos pelo ambiente se comuniquem exclusivamente com um nó coordenador definido. Para que um nó se conecte a uma rede utilizando a topologia estrela deve enviar uma requisição para o nó coordenador solicitando sua entrada na rede e o nó coordenador responde a requisição permitindo ou não sua entrada na rede. A Figura 3 apresenta uma ilustração de uma rede estrela.



**Figura 3 - Topologia Estrela**

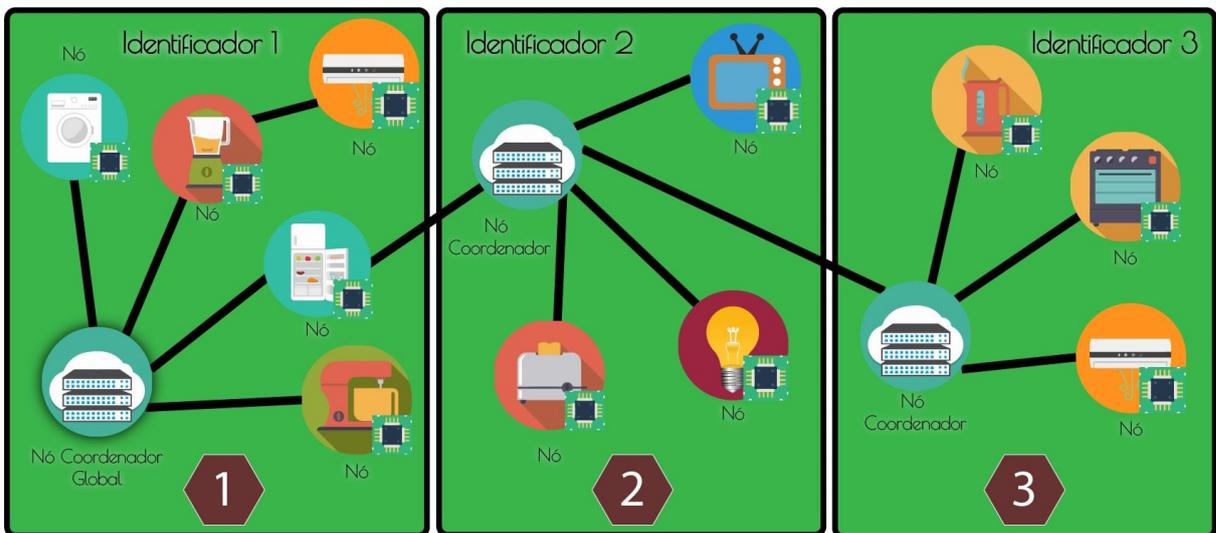
Outra topologia definida pela IEEE 802.15.4 é a *peer-to-peer* (P2P) que é recomendada para áreas maiores em que não possui a latência como um problema crítico Buratti et al. (2009). A norma 802.15.4, estipulada pela IEEE (2011), define algumas características para a topologia *peer-to-peer*:

- existência de apenas um nó coordenador global;
- cada cluster de rede possui uma identificação única;
- qualquer nó é possível se comunicar com qualquer outro nó, desde que estejam um ao alcance do outro;

- de acordo que os critérios da aplicação ou da rede sejam supridos, o coordenador global pode instituir um outro dispositivo como coordenador de um novo *cluster*.

A topologia P2P é recomendada para áreas maiores devido a sua característica de encarregar a nós vizinhos a entrega de suas mensagens, não sendo necessário que o nó tenha acesso direto ao nó coordenador global da rede. Devido a sua possibilidade de transmissão de dados por meio de outros dispositivos, a topologia P2P permite que haja formações de redes mais complexas como redes contendo mais de um *cluster*.

Dependendo dos critérios da aplicação ou da rede, o nó coordenador global pode instituir novos nós coordenadores para *clusters* adjacentes. No momento em que um nó coordenador está presente na rede, o mesmo dispara uma mensagem *broadcast* para a localização de nós vizinhos, este procedimento acontece de tempos em tempos para que haja uma constante atualização dos nós associados a cada *cluster*. Quando um nó que não está associado a nenhum nó coordenador recebe uma mensagem *broadcast*, este está habilitado a requisitar sua associação ao nó coordenador que enviou a mensagem, cabendo ao emissor da mensagem a aceitação do dispositivo ou não. A Figura 4 apresenta uma ilustração de uma árvore de *clusters*, utilizando da topologia *peer-to-peer*.



**Figura 4 – Árvore de *clusters* utilizando *peer-to-peer***

A Figura 4 ilustra uma representação do relacionamento pai-filho de uma árvore de *clusters* utilizando a topologia P2P, e não de um fluxo de comunicação entre os dispositivos. No quadro um, o nó coordenador que ao criar a rede obteve o código identificador 1 – numeração fictícia – como forma de identificador de si próprio. O identificador 1 apresenta 4 dispositivos que possuem associados como pai o nó coordenador global, encaminhando os dados diretamente para ele, sem a necessidade de utilização de outros dispositivos para transferência. No quadro 1 é apresentado um quinto dispositivo que

não possui o nó coordenador global associado como pai e por isso retransmite seus dados para o próximo dispositivo para que ele, caso esteja em um relacionamento de parentesco com o nó coordenador global, possa entregar os dados. Também sem associação direta com o coordenador global, o nó coordenador do segundo quadro – quadro 2 – obtém um código identificador não utilizado, identificador 2, e se conecta a um dispositivo do identificador 1 para que haja um relacionamento de pai-filho com outro nó. O nó coordenador da área de identificação 2 emite, em *broadcast*, uma mensagem e quando os dispositivos próximos a ele recebem a mensagem, solicitam a entrada na rede, obtendo assim três dispositivos conectados ao nó coordenador. O quadro 3 apresenta um nó coordenador associado diretamente a outro nó coordenador, sendo que o coordenador do último quadro efetuou os mesmos passos: definição de um identificador; transmissão em *broadcast* para conhecimento dos nós vizinhos; e aceitação – ou não – dos nós vizinhos à rede, de forma que todo dispositivo da rede possua uma ligação pai-filho com algum outro nó.

Com a utilização da norma IEEE 802.15.4, soluções WSN beneficiam-se de características importantes para uma rede distribuída de sensores, sendo estas descritas por IEEE (2011, p. 8):

- baixo consumo elétrico;
- comunicação de baixo custo;
- fácil instalação;
- transferência confiável de dados.

Dentre as características da norma IEEE 802.15.4, uma das mais importantes é a de baixo consumo elétrico, pois devido a possibilidade de aplicação de soluções em ambientes que não possuem fácil acesso, a probabilidade de os nós possuírem disponibilidade de carga elétrica limitada é grande.

O problema de consumo elétrico é um dos itens que vêm sendo tratados em pesquisas na área da computação e eletrônica. Melhorias nesse aspecto, juntamente com outros itens como miniaturização de elementos e capacidade de processamento proporcionaram equipamentos mais eficientes, robustos – em questão de processamento –, fornecendo melhores resultados quanto a relação “desempenho *versus* estrutura física”. Essas pesquisas têm criado o ambiente propício para o desenvolvimento de novas tecnologias e conceitos, como é o caso da computação ubíqua.

O termo ‘computação ubíqua’ foi difundido por Weiser (1991, tradução nossa) que afirmou que “as mais profundas tecnologias são aquelas que desaparecem” e que fazem parte

do dia-a-dia a ponto de não serem distinguíveis. Weiser (1991) ainda discorre sobre a má posição da ideia de computação pessoal, em que um laptop – por exemplo – é apenas um passo transicional do real potencial da tecnologia da informação.

A computação ubíqua ao contrário da comunicação M2M possui a obrigatoriedade de ser imperceptível aos usuários. Exemplos utilizando a computação ubíqua podem ser aplicados a diversas áreas, tais como Logística, Produção, Militar, Tecnologia Médica, Comunicação entre outros; podendo ser aplicadas soluções como rastreamento inteligente do processo de produção, desde a logística da matéria prima à logística de produtos finalizados e possíveis descartes Sen (2012)

Uma das características da computação ubíqua é a identificação dos dispositivos que estão se comunicando. Com a utilização de tecnologias de identificação consolidadas, como o RFID, a complexidade envolvida no desenvolvimento de soluções ubíquas tende a diminuir. Segundo Juels (2006, p. 1), o RFID – *Radio-Frequency IDentification* – “é uma tecnologia de identificação automática de objetos e pessoas” que facilita o reconhecimento destes objetos e pessoas por elementos computacionais.

Os dispositivos RFID são divididos em dois tipos: leitor e *tag*, de forma que o leitor é o dispositivo que solicita e recebe os dados de cada *tag*; e a *tag* é o dispositivo que armazena códigos para a identificação dos itens. Em alto nível, as *tags* podem ser subdivididas em duas classes: ativa e passiva, sendo as ativas alimentadas por fontes de energia – como tomadas e baterias – e as passivas alimentadas por energia armazenada por meio de indução magnética ou captura de onda eletromagnética Want (2006, p. 25 e 26).

Com a capacidade de armazenar dados em *tags*, o RFID tem sido utilizado por diversos setores, como empresarial, automobilístico, pagamento virtual e até mesmo veterinário, sendo contabilizado mais de 50 milhões de animais de estimação que possuem *tags* RFID inseridas em seus corpos para facilitar sua identificação e conseqüentemente, seu retorno aos donos, em caso de fuga Juels (2006, p. 2).

Ao aproximar as características de M2M, WSN, Computação ubíqua e RFID pode-se ter uma ideia do conceito de IoT, que será abordado no próximo capítulo.

### 2.1.2 Definições de Internet das Coisas

Cunhado em 1999 por Kevin Ashton em uma conferência na empresa Procter & Gamble (P&G) Ashton (2009) e Gubbi et al. (2013), a IoT, segundo Cisco ISBG (2011 *apud* EVANS, 2011, tradução nossa), “é simplesmente o ponto no tempo quando mais ‘coisas ou

objetos' estiverem conectadas à internet do que pessoas”, sendo afirmado então, por Evans (2011), que a IoT só se tornou realidade entre 2008 e 2009, pois antes disso a quantidade de dispositivos conectados à internet era inferior a quantidade de pessoas na terra, sendo que em 2003 haviam 6.3 bilhões de pessoas no planeta e apenas 500 milhões de dispositivos conectados; e em 2010 foram 12.5 bilhões de dispositivos conectados e 6.8 bilhões de pessoas no planeta.

Para Uckelmann, Harrison e Michahelles (2011, tradução nossa), IoT é “um meio para conectar coisas, sensores, atores e outras tecnologias inteligentes, de modo que permita a comunicação pessoa-objeto e objeto-objeto”. O autor ainda discorre sobre este conceito estar diminuindo a distância entre a tecnologia da informação e os objetos, de forma que produtos antes identificados apenas por seus tipos ou por lotes, agora são identificados individualmente.

Aggarwal, Ashish e Sheth (2013, p. 384, tradução nossa) acrescentam que IoT “refere-se aos objetos unicamente endereçáveis e suas representações virtuais em uma estrutura semelhante à internet”. Devido a estas características, os objetos se tornam ferramentas para a compreensão de complexidades – em ambientes e situações – e talvez permitam respostas autônomas a cenários desafiadores sem a intervenção humana, porém, os pesquisadores ressaltam que a IoT enfrenta um problema de endereçamento, devida a escassez de endereços IPs, que é solucionado por meio da utilização da arquitetura IPv6, devido a garantia de endereço IP disponíveis.

Para Singh, Tripathi e Jara (2014, p. 287), a IoT é “uma convergência de internet com RFID, sensores e objetos inteligentes”. Para a melhor compreensão do termo apresentado pelos autores, o *RFID Journal* (2015) define RFID como: “qualquer método de identificação de itens únicos utilizando ondas de rádio” e o autores Kortuem, Fitton e Sundramoorthy (2010, p. 30) definem objetos inteligentes como: “objetos autônomos físicos/digitais aumentados com capacidade perceptiva, processamento, e recursos de rede”. Sobre IoT, Singh, Tripathi e Jara (2014, p. 287) ainda complementam que bilhões de dispositivos serão conectados à internet, gerando uma quantidade imensa de dados. Tais dados devem passar por um processo de transformação, de forma a possibilitar a extração de informações relevantes para o contexto em que a solução estará sendo aplicada.

Gubbi, Buyya e Marusic (2013, p. 5, tradução nossa) definem IoT como:

Interconexão de dispositivos de percepção e atuantes fornecendo a habilidade de compartilhar informação através de plataformas utilizando um framework unificado, desenvolvendo imagem operacional comum para permitir aplicações inovadoras. Isto é alcançado pela percepção ubíqua,

análise de dados e representação de informações com computação em nuvem como framework unificador.

Conforme citado pelos autores, uma imagem operacional comum - *Common Operating Picture*, COP –, segundo Leedom (2003, p. 2), é um termo militar para representar um ambiente que reúne todas as informações pertinente a uma situação, utilizado para tomada de decisões e planejamentos estratégicos. Gubbi, Buyya e Marusic (2013, p. 6) afirmam, com base na quantidade de pesquisas do Google, que o termo IoT – os autores fizeram a pesquisa utilizando o termo em inglês, *Internet of Things* – está em crescimento proporcional à queda da quantidade de pesquisas sobre “rede de sensores sem fio” – em inglês, *wireless sensor networks* –, indicando um crescimento pela área.

O autor Karimi (2013, p. 1, tradução nossa) expõe sua definição de IoT como: “bilhões de ‘coisas’ inteligentes e conectadas [...] que cercam todos os aspectos de nossas vidas, e sua base é a inteligência que o processamento embarcado fornece”. O autor ainda complementa expondo que dispositivos inteligentes interagem e se comunicam com outros dispositivos, ambientes e infraestruturas, gerando uma imensa quantidade de dados que se transformam em ações úteis capazes de “comandar e controlar” coisas que tornam a vida das pessoas mais fácil e mais segura.

Segundo Abu-Elkheir, Hayajneh e Abu Ali (2013, p. 15583, tradução nossa), a IoT “é uma global e dinâmica infraestrutura de rede, na qual ‘coisas’ – subsistemas e entidades individuais físicas e virtuais – são identificáveis, autônomas e autoconfiguráveis”. Os autores acrescentam que a visão que a IoT deve alcançar é a de domínio sobre o poder colaborativo das informações de cada dispositivo e os dados em tempo real que, juntamente com os dados armazenados, podem disponibilizar realizações inovadoras e não convencionais Abu-Elkheir et al. (2013, p. 15583, tradução nossa).

Para Vermesan *et al* (2013, p. 7–8, tradução nossa), a IoT é:

Um conceito e um paradigma que considera a presença pervasiva no ambiente de uma variedade de coisas/objetos que através da conexão da rede sem fio ou com fio e esquemas de endereçamento único permitem interagir uns com os outros e cooperar com outras coisas/objetos para criar novas aplicações/serviços e alcançar objetivos em comum

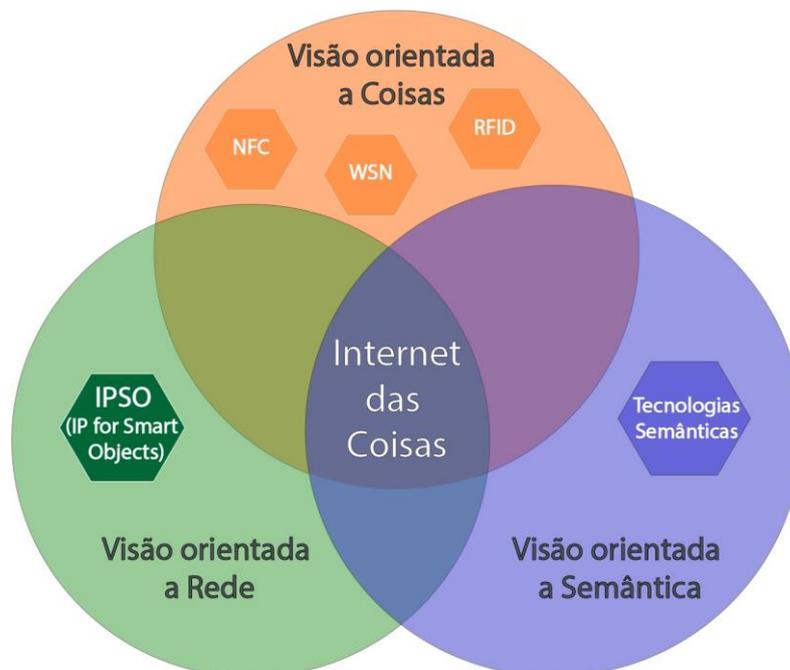
Ao que diz respeito à presença pervasiva, Cirilo (2009) expressa que “computação pervasiva implica que o computador está embarcado ao ambiente de forma invisível para o usuário”, ou seja, a presença pervasiva de coisas/objetos citada por Vermesan *et al*, consiste na presença da computação como plano de fundo de ambientes, de forma que não seja notada pelos usuários.

Conforme apresentado nos parágrafos anteriores, as definições dos autores muitas vezes foram diferentes e/ou complementares quanto à definição do termo IoT. Para entender a diversidade da conceituação do termo, uma sistematização que considera algumas abordagens do conceito IoT será apresentada a seguir.

### 2.1.3 Visões

O conceito IoT vem sendo abordado há alguns anos sem que haja uma concordância quanto à sua definição. Isso é causado pela própria composição do conceito, segundo Atzori *et al.* (2010, p. 2788) , devido a presença das palavras “Internet” e “Coisas” que remetem a abordagens diferentes. O termo “Internet” remete a uma visão voltada à rede – conexão entre dispositivos – e o termo “Coisas” está relacionado a objetos genéricos, possuindo então as visões orientadas a internet e orientadas a coisas, respectivamente. Os autores complementam expondo que tal desentendimento é resultado das visões diferenciadas entre os *skateholders*, pois cada envolvido desenvolve a linha de pesquisa mais voltada para seus interesses, seja a visão orientada a internet ou a coisas.

Além das duas visões supracitadas, existe a terceira visão que possui como foco a compreensão das soluções, sendo denominada de visão orientada à semântica. Para melhor compreensão, todas as três visões estão representadas em forma gráfica na Figura 5.



**Figura 5 – Adaptada de Atzori, Iera e Morabito (2010). Visões da IoT**

A Figura 5 apresenta as três principais visões para a IoT e dentro de cada círculo são apresentadas as tecnologias associadas a cada visão, segundo Atzori, Iera e Morabito (2010, p. 2788).

Quanto a visão orientada a coisas, Aggarwal, Ashish e Sheth (2013, p. 387) ressaltam que esta visão é a mais dominante entre as três e erroneamente, devida a sua relação próxima, é indicada como sinônimo da tecnologia RFID. Com a presença de outros sensores de baixo custo, as *tags* RFID não são unicamente elementos possíveis a serem utilizadas pela visão orientada a coisas, sensores complementares ou mesmo a não utilização de *tags* RFID podem ser aplicadas na implantação.

Segundo Aggarwal, Ashish e Sheth (2013, p. 384) o RFID é considerado uma das tecnologias que permite a implantação da IoT devida sua capacidade de identificação simultânea de múltiplos objetos unicamente identificáveis. Porém, Presser e Gluhak (2009, p. 8) complementam que outras tecnologias como o NFC – *Near Field Communications* – e WSN – *Wireless Sensor and Actuators Networks* –, juntamente com o RFID serão componentes importantes para interligar o mundo real com o mundo virtual.

Mesmo que o RFID esteja direcionando a visão orientada a coisas, a identificação de ativos – objetos, recursos, ou seja, as “coisas” do contexto – é apenas uma parte do conceito geral. A aplicação da IoT requer a interoperabilidade entre tecnologias, para que um de seus requisitos, como o de comunicação sem fio entre todos os elementos da rede, possa ser alcançado.

Quanto a visão orientada a Internet, pesquisadores e empresas têm se unido em busca de um modelo de conexão entre os objetos para integrá-los à rede mundial de computadores. Segundo Singh, Tripathi e Jara (2014, p. 288, tradução nossa), “os objetos necessitam ter características do protocolo IP, pois este é o maior protocolo sendo seguido no mundo da Internet”, o que possui alguns outros benefícios, como o amplo conhecimento da comunidade científica sobre a arquitetura e funcionamento do protocolo.

Para melhor funcionamento em objetos que possuam capacidade energética limitada, por serem alimentados por baterias, a IPSO (*IP for Smart Objects*) Alliance, segundo Hui, Culler e Chakrabarti (2009, p. 2), trabalha com a adaptação do protocolo IPv6 utilizando o padrão IEEE 802.15.4 LoWPAN (padrão de comunicação sem fio de baixo consumo elétrico), intitulado de 6LoWPAN, possibilitando a utilização do endereçamento IPv6 em “coisas”.

Quanto a visão orientada à semântica, Aggarwal, Ashish e Sheth (2013, p. 388, tradução nossa) afirmam que a visão semântica “endereça as questões de gerenciamento de dados que se originam do contexto da vasta quantidade de informações que são trafegadas

pelos objetos inteligentes e recursos padronizados através da interface web”, ou seja, trabalha com os questionamentos acerca do armazenamento, gerenciamento e representação dos dados; além da compreensão das informações a serem geradas a partir dos dados recentes e armazenados.

Para Singh, Tripathi e Jara (2014, p. 288), a visão orientada a semântica é alimentada pela imensa quantidade de dados que serão gerados. Com a grande quantidade de dados sendo recebidos constantemente, o armazenamento e o processamento destes dados fornecem insumos para que sejam transformados em informações significativas para o contexto, sendo possível resolver o problema no qual será aplicado a IoT.

Conforme Figura 5, o conceito está presente na intersecção das três visões supracitadas: orientada a coisas, orientada a internet e orientada a semântica. A combinação dos recursos de cada visão compõe as principais características da IoT, desde a parte física até a extração de informações relevantes a partir dos dados nativos, passando por tecnologias de comunicação capazes de enfrentar – algumas – adversidades e obstáculos.

## 2.2 Características

A estrutura de uma solução de IoT é composta por dispositivos com capacidade perceptiva do ambiente – sensores –, rede de transmissão dos dados – WSN – e processamento dos dados para elaboração de conhecimento. Em conjunto, esses elementos mantêm as três mais importantes características da IoT que, são, segundo Ma (2011):

- objetos comuns são instrumentados;
- terminais autônomos são interconectados;
- e serviços pervasivos são inteligentes.

A primeira característica – objetos comuns são instrumentados – remete a presença de dispositivos como sensores, atuadores ou identificadores em qualquer situação cotidiana. Os sensores possuem a função de extrair dados do ambiente, os atuadores de executar ações – como ligar determinado aparelho –, e os identificadores de dar uma identificação única ao objeto – como *tags* RFID.

Com a utilização de aparelhos que permitem com que os objetos do dia-a-dia possam captar dados sobre o ambiente, juntamente com a identificação fornecida por dispositivos como tags RFID, é possível a criação de uma representação em ambiente virtual, permitindo a utilização de seus dados captados para geração de informação relevante, como: a detecção de

que um objeto foi retirado do ambiente, a existência de gases inflamáveis no ambiente ou até mesmo a temperatura de um determinado objeto.

Conforme descrito anteriormente, o conceito de IoT, principalmente no que tange aos dispositivos, tem sido encabeçada por grupos de estudos da tecnologia RFID, porém, soluções de IoT podem ser aplicadas com dispositivos diferentes, sem sequer utilizar RFID.

A segunda característica – terminais autônomos são interconectados – representa a comunicação inteligente entre dispositivos inteligentes, sendo esses dispositivos resultado do desenvolvimento da miniaturização de dispositivos com habilidade de percepção, processamento e comunicação sem fio que, em conjunto, podem formar uma WSN com possibilidade de aplicações em diversas áreas, como monitoramento ambiental, monitoramento de infraestrutura, varejo etc. (GUBBI *et al.*, 2012).

Mesmo com a presença de WSN em uma aplicação da IoT, Vermesan *et al.* (2013) afirmam que “a comunicação é baseada na interoperabilidade de protocolos, operando em ambientes e plataformas heterogêneas”, permitindo que diversos segmentos de uma única aplicação de IoT possuam estruturas de comunicação diferentes, sejam elas NFC, WSN ou Internet.

A terceira característica – serviços pervasivos são inteligentes – remete a disponibilização de serviços relacionados a dispositivos perceptivos que forneçam informações relevantes para a utilização nas aplicações. Holler *et al.* (2014) relatam que, devido ao crescimento da utilização de dispositivos no dia-a-dia, a infraestrutura para sustentar tal fato deve ser adaptativa, tendo como uma das modificações a inserção de equipamentos que forneçam informações sobre a infraestrutura, como estradas, iluminação e metrô. O autor ainda menciona que as estruturas associadas a equipamentos serão conectadas a sistemas de gerenciamento e análise de dados de grande escala, fornecendo visualização necessária para o desenvolvimento de sociedades e cidades sustentáveis e inteligentes.

Para Miorandi *et al.* (2012), soluções de IoT devem suportar alguns fatores-chaves para que possam ser executadas:

- heterogeneidade de dispositivos: segundo Vermesan *et al.* (2013) e Miorandi *et al.* (2012) os dispositivos serão amplamente distribuídos e produzidos por diversas empresas, aumentando a chance de heterogeneidade devido às diferenças de processamento e comunicação. Tal heterogeneidade poderia causar situações de indisponibilidade de serviço para usuários finais, causando resultados preocupantes em áreas como saúde e urgência e emergência. Miorandi *et al.* (2012) conclui afirmando que a heterogeneidade

dos dispositivos deve ser suportada nos níveis arquitetural e de comunicação a fim de superar as diferenças computacionais e comunicativas;

- escalabilidade: com a alteração do protocolo IPv4 para o IPv6 como protocolo principal de comunicação da Internet, a quantidade de endereços disponíveis para objetos do dia-a-dia será muito grande (VERMESAN *et al*, 2013), permitindo a constante inserção de dispositivos em soluções de IoT. Com a tendência de crescimento da quantidade de objetos conectados, a escalabilidade torna-se um fator preocupante possuindo, segundo Miorandi *et al.* (2012), quatro questões a serem consideradas: endereçamento, devida quantidade de dispositivos com endereços únicos; comunicação, devida a quantidade de dispositivos interconectados; gerenciamento de informação, devida a possibilidade de criação de uma representação virtual para cada dispositivo e; gerenciamento de serviços, devida a grande quantidade de dispositivos heterogêneos e serviços disponíveis na rede;
- Permutação de dados ubíquos: sendo um dos fatores chaves para o desenvolvimento da IoT, a comunicação sem fio pode permitir não somente a transferência de dados captados do ambiente, mas também, a habilidade de comunicação entre objetos inteligentes e a transmissão de comandos e controle destes objetos (GUBBI *et al*, 2012; MIORANDI *et al*, 2012);
- Otimização elétrica: segundo Vermesan *et al* (2011) “o armazenamento de energia é um dos mais importantes obstáculos da miniaturização de dispositivos eletrônicos” influenciando, conseqüentemente, soluções de IoT. Devido ao consumo elétrico dos dispositivos e a baixa capacidade de armazenamento elétrico, a otimização do consumo elétrico tem um papel importante para o funcionamento dos dispositivos, sendo prolongada pela captação energética solar;
- Capacidade de localização e rastreamento: com a utilização de sensores e identificadores, é possível o monitoramento da posição de objetos de interesse. Informação importante para aplicações de logística e ciclo de vida de produtos, como, por exemplo, no monitorando de quando os produtos foram utilizados e sob qual circunstância, assim como o monitoramento da condição e da manutenção dos produtos (MIORANDI *et al*, 2012; UCKELMANN, HARRISON, MICHAHELLES, 2011;);
- Auto-organização: com a constante inserção e exclusão de dispositivos à rede em soluções de IoT (VERMESAN *et al*, 2013) – por defeito ou distanciamento da área de cobertura, por exemplo – os objetos inteligentes conectados à rede devem ser capazes de se organizarem automaticamente. A auto-organização é um importante recurso para

contornar a ausência dos dispositivos excluídos ou utilizar dos recursos dos dispositivos recentemente conectados, mantendo a estabilidade do funcionamento da solução. Segundo Miorandi *et al.* (2012), a habilidade de auto-organização também permite que os dispositivos tenham ações autônomas para diferentes situações, de forma a minimizar a intervenção humana;

- Interoperabilidade semântica e gerenciamento de dados: Para Vermesan *et al.* (2013) “coisas e recursos [...] devem estar aptos a descrever suas características e capacidades de uma maneira em que outro objeto consiga interagir com ele”. Para tal, deve haver modelos e formatos padronizados para os dados transmitidos, permitindo que a habilidade de interação entre objetos possa ser utilizada de forma autônoma para alcançarem os mesmos objetivos;
- Segurança e privacidade: em posse de informações detalhadas sobre pessoas, processos e/ou objetos – por exemplo –, soluções em IoT são alvos interessantes para criminosos cibernéticos. Segundo Miorandi *et al.* (2012), a “segurança deve ser considerada uma propriedade chave e ser levada em consideração no design da arquitetura e nos métodos para soluções de IoT”. Para Vermesan *et al.* (2013), avanços na área de segurança para IoT são necessários para garantir que os dados não sejam acessados por meio de atividades maliciosas.

Após a apresentação das características, a próxima seção apresenta algumas arquiteturas propostas pela comunidade científica a fim de fornecer melhor funcionamento de soluções de IoT.

## 2.3 Arquiteturas

Diferentemente de outras tecnologias, a IoT não possui um consenso sobre qual arquitetura deve ser seguida para o desenvolvimento de suas soluções. Com isso, esta seção apresenta dois modelos de arquiteturas propostas pela comunidade científica: uma arquitetura contendo três camadas e uma arquitetura orientada a serviços.

### 2.3.1 Arquitetura de Três camadas

A arquitetura de três camadas, possui a parte tecnológica da IoT dividida em três partes: Camada de Percepção, Camada de Rede e Camada de Aplicação, conforme Figura 6.



**Figura 6 – Arquitetura de três camadas**

A Camada de Percepção é o nível mais próximo ao ambiente, sendo afirmado por Said e Masud (2013) ser a camada que “identifica cada coisa em uma aplicação de IoT”. Tal camada consiste no rol de dispositivos disponíveis na solução, como sensores, atuadores, câmeras, tags/leitores RFID, GPS, celulares, *tablets* entre outros (DOMINGO, 2011; LIU *et al.*, 2011; SAID; MASUD, 2013).

A Camada de Rede possui como função principal a transmissão dos dados obtidos pelos dispositivos da Camada de Percepção para a Camada de Aplicação (Said; Masud, 2013). Para a Camada de Rede não existe a obrigatoriedade de utilizar apenas uma tecnologia de transmissão de dados, podendo ser utilizadas diversas tecnologias como, por exemplo, RFID, NFC, Bluetooth ou ZigBee, para que em conjunto consigam transmitir as informações da Camada de Percepção para a Camada de Aplicação. Para Liu *et al.* (2011), a Camada de Rede pode ser composta por diversas tecnologias de comunicação mas sempre haverá uma tecnologia principal em que todas as outras tecnologias serão conectadas. Sendo que, mesmo que haja diversas tecnologias de comunicação trabalhando em conjunto na IoT, uma dessas tecnologias será considerada a principal para transmitir os dados até a Camada de Aplicação, pois os dados podem, por exemplo, sair de *tags* RFID e serem transmitidas por rede sem fio até o leitor RFID e, posteriormente, serem transmitidos pela comunicação principal, por meio do cabeamento da Internet para a Camada de Aplicação.

A terceira camada, de aplicação, tem como função o armazenamento, processamento e análise dos dados dos objetos inteligentes, a fim de extrair informações relevantes para o contexto que está sendo aplicada a solução. Segundo Zheng *et al.* (2011), a quantidade de dados na terceira camada é grande e por isso “utiliza tecnologias de computação distribuída, como *Peer to Peer* (P2P) e computação em nuvem (CN), para facilitar a análise e processamento, tomada de decisão, e aperfeiçoamento da capacidade de processamento”.

Com a utilização de processamento paralelo – P2P e CN –, análises mais complexas podem ser executadas, alcançando assim, resultados mais inteligentes e significativos.

### 2.3.2 Arquitetura Orientada a Serviços

Com a diversidade e a grande quantidade de dispositivos a serem conectados em soluções baseadas em IoT, a arquitetura orientada a serviços – *Service Oriented Architecture*, SOA – facilita o desenvolvimento de aplicações, de forma que a utilização de serviços para cada objeto inteligente exige a necessidade de conhecimento técnico sobre as camadas de baixo nível, podendo, então, focar na aplicação em si (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Além disso, segundo Spiess *et al.* (2009), a arquitetura orientada a serviços facilita a interoperabilidade dos dispositivos, pois mascara a heterogeneidade de *hardware*, *software*, formato de dados e comunicação. A Figura 7 ilustra as camadas da arquitetura orientada a serviços.



**Figura 7 – Camadas da arquitetura orientada a serviços**

A Figura 7 apresenta a arquitetura orientada a serviço apresentada por Atzori, Iera e Morabito (2010), que é composta por cinco camadas: Objetos, Abstração de Objetos, Gerenciamento de Serviços, Composição de Serviços e Aplicações, sendo que destas cinco camadas, três compõem o *middleware* da arquitetura: Abstração de Objetos, Gerenciamento de Serviços e Composição de Serviços.

A camada Objetos é a camada que representa os dispositivos da solução, ou seja, as coisas, independentemente do local e da situação, os objetos são a fonte de dados das soluções utilizando a IoT. Os objetos inteligentes, por possuírem capacidades de percepção, devem

transmitir seus dados para as camadas superiores da arquitetura, a fim de alcançar o objetivo da solução.

A segunda camada, Abstração de Objetos, uma das camadas que compõem o *middleware*, tem como objetivo a facilitação da comunicação entre os dispositivos e as camadas superiores da arquitetura. Para tal, esta camada recebe os dados de todos os sensores da solução, interpreta e, caso seja necessário, os converte para a linguagem utilizada pelas camadas superiores. Segundo Atzori, Iera e Morabito (2010), existem duas possibilidades quanto ao conhecimento das capacidades perceptivas dos dispositivos: a presença ou a ausência de um servidor *web service* embarcado no dispositivo. Caso o dispositivo possua um servidor *web service* – situação ideal – este irá trocar mensagens com a camada de Abstração de Objetos, informando à solução suas capacidades perceptivas, e também permitirá o recebimento de comandos da solução. Caso não haja a presença de um servidor *web service* embarcado no dispositivo, a camada de Abstração de Objetos deverá ser subdividida em outras duas subcamadas: interface e subcamada de comunicação.

Os autores explicam que a primeira subcamada “fornece uma interface web expondo os métodos disponíveis através de uma comunicação *web service* padronizada” e além disso também gerencia o recebimento e envio das mensagens contendo comandos para os dispositivos perceptivos. A outra subcamada de comunicação cria a lógica por trás dos serviços, permitindo que a solução consiga ter uma troca de mensagens eficiente mesmo com a heterogeneidade dos dispositivos, traduzindo os comandos da solução em comandos específicos de cada dispositivo e vice-versa (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

A segunda camada que compõe o *Middleware* é a camada de Gerenciamento de Serviços, que é responsável por administrar todos os serviços de cada dispositivo, deixando-os disponíveis para a camada superior poder utilizá-los como recursos e atuadores da solução. Como parte da administração dos serviços, esta camada implementa algumas atividades como: possibilidade de descoberta de novos serviços em tempo de execução, monitoramento da situação de cada dispositivo, configuração de serviços e gerenciamento de qualidade da rede. Tais atividades são necessárias para o bom funcionamento da solução, pois garantem que o sistema não seja interrompido para inserção ou exclusão de dispositivos, não permite a utilização de recursos indisponíveis e mantenha a qualidade de comunicação da rede.

A terceira e última camada do *Middleware* é a camada de Composição de Serviço cujo principal papel é o de combinar dados dos dispositivos inteligentes com o objetivo de criar informações mais complexas. Nesta camada não se tem comunicação com os dispositivos em si, e sim com uma biblioteca de serviços de dispositivos ativos, ou seja, é trabalhado apenas

com dados padronizados oriundos desses serviços. A combinação dos dados disponíveis é formulada a partir das necessidades da aplicação, podendo ter inúmeras combinações possíveis inclusive fornecendo informações inatingíveis anteriormente.

Com a grande quantidade de serviços disponíveis em uma rede, o processo de combinação entre eles pode se tornar complexo. Com base nisso, Atzori, Iera e Morabito (2010) afirmam ser frequente a adoção de *workflow* de processos de negócios utilizando linguagens padronizadas para o desenvolvimento correto destas combinações, podendo inclusive haver processos aninhados a fim de alcançar o mesmo objetivo.

A Camada Aplicação, última camada da arquitetura, tem como objetivo a utilização das informações obtidas pela camada de Composição de Serviços a fim de gerar resultados para os usuários. As informações são utilizadas para a tomada de decisões, disparando ações de acordo com a lógica de negócio da aplicação, como por exemplo: envio de comandos para atuadores no ambiente, comunicação com outros sistemas ou utilização de serviços da Internet.

Através da utilização dos resultados das camadas anteriores, deve ser possível que a Camada Aplicação alcance os objetivos da solução definindo quais dados serão necessários, quais serviços serão utilizados e quais ações serão executadas, de forma que tais decisões sejam tomadas de forma autônoma criando, assim, uma solução inteligente.

## **2.4 Trabalhos Relacionados**

No decorrer da construção do referencial bibliográfico foram verificadas algumas pesquisas cujo desenvolvimento pode contribuir com a hipótese levantada nesse trabalho. Essas pesquisas abordam o monitoramento florestal utilizando rede de sensores sem fio e a proposta de um modelo de desenvolvimento de soluções para IoT.

### **2.4.1 Rede de sensores sem fio para monitoramento florestal**

Em conjunto com pesquisadores da Faculdade de Recursos Florestais e de Meio Ambiente localizada em Nanjing, China, os autores Xiaochuan *et al.* (2010) aplicaram uma rede de sensores sem fio durante vinte dias em uma floresta em Purple Mountain, China. Durante os vinte dias da aplicação foram utilizados ao todo dezoito sensores que captaram informações de Temperatura, Umidade e Intensidade de Luz a cada dois minutos e meio. A Figura 8 apresenta os locais em que foram posicionados os sensores.



**Figura 8 – Locais de Implantação dos sensores (XIAOCHUAN *et al.*, 2010)**

A Figura 8 apresenta os três locais que foram utilizados como fonte de informações para a pesquisa, marcados com as letras A, B e C. Na área A, segundo Xiaochuan *et al.* (2010), foram instalados quinze dispositivos de forma randômica e um dispositivo atuando como *gateway*, transmitindo os dados para a área C utilizando uma comunicação de longa distância. A área C ilustrada na Figura 8, é o local no qual foi posicionada a base da pesquisa recebendo todos os dados do projeto. Na área B, a configuração foi diferente, de forma que foram posicionados dois dispositivos que transmitiam as informações em *multihop*. Além disso, a área B é próxima a rodovias e residências, gerando um contraste entre os dados em relação a área A.

Após a captação dos dados, os autores avaliaram os dados da pesquisa em três aspectos:

- performance da coleta de dados: segundo os autores, devida a alta taxa de captação de dados pelos sensores, entre 600 a 1200 bytes por segundo para cada sensor, seria impraticável transmitir intermitentemente os dados de todos os sensores, sendo essa a motivação pela captação de amostras a cada dois segundos e meio. Após as análises dos autores, eles afirmaram que a configuração utilizada teve uma taxa de aproximadamente 87% de recebimento dos dados. Essa taxa, segundo Xiaochuan *et al.* (2010), “é bastante aceitável para tal pesquisa científica”, indicando que a continuação do trabalho deverá ser no aumento da rede de sensores para verificar a performance em grandes redes;
- comparação dos dados: com a aplicação em duas áreas distintas (área A e área B) e com características distintas, os pesquisadores puderam constatar que devida a habilidade de ajuste de temperatura das árvores, a temperatura da área A manteve-se com poucas

oscilações independente do turno do dia, enquanto que na área B a temperatura alcançou picos de mais de 60 graus centígrados;

- fidelidade dos dados: considerada pelos autores como mais importante aspecto da pesquisa, essa perspectiva teve como objetivo a descoberta da fidelidade dos dados obtidos pelos sensores. Com a análise dos dados, os pesquisadores chegaram à conclusão que os dispositivos implantados na área A tiveram erros menores que um grau centígrado, indicando uma boa fidelidade. Tal afirmação foi feita ao analisar os dados captados pelos sensores em comparação às mensurações da temperatura feitas de forma manual, quatro vezes ao dia, durante quinze dias.

Apesar das conquistas alcançadas com a implantação da rede de sensores sem fio na floresta chinesa, os autores indicaram que houve alguns incidentes, como a destruição de um dos sensores no momento da instalação devido a um ataque de um animal selvagem. Este e outros problemas foram identificados e serão levados em consideração para trabalhos futuros, assim como o aumento da rede para 100 ou 200 sensores (XIAOCHUAN *et al.*, 2010).

A rede de sensores sem fio é um recurso que está sendo utilizado para o monitoramento ambiental, mas também é um recurso para o desenvolvimento de aplicações em IoT, trazendo informações cruciais para a aplicação.

#### 2.4.2 Uma metodologia para construção da internet das coisas

Como forma de propor uma metodologia de desenvolvimento de aplicações para IoT, Collins (2014) definiu em seis etapas iterativas os processos necessários para a elaboração de um modelo de IoT com foco nos problemas dos *stakeholders*. As seis etapas elaboradas por Collins (2014) foram: Cocriação, Ideação, Questionamentos, Arquitetura, Prototipagem e Implantação.

A etapa “Cocriação” remete ao entendimento do contexto no qual pretende-se aplicar a solução. Por meio de entrevistas e reuniões, o propósito desta etapa é o de entender os problemas enfrentados pelos *stakeholders* de forma simples, sem considerar complexidades técnicas e com foco no estreitamento do escopo do problema e na análise dos problemas voltada ao usuário. Para isto Collins (2014) indica que devem ser executadas algumas atividades como por exemplo: “discussão sobre o domínio do problema utilizando proposições visuais, identificar áreas de conhecimento que contribuam para as soluções, reduzir o escopo de problemas grandes, entre outros”. Nesta etapa os *stakeholders* devem

expressar os problemas existentes e como eles já resolvem estes problemas, devem tentar repassar o máximo de informações sobre o contexto.

A etapa “Ideação” tem o propósito de simplificar as discussões da etapa anterior para que possa ser desenvolvida uma a solução. Nesta etapa as necessidades identificadas na etapa “Cocriação” são apresentadas para os desenvolvedores e *designers* para a elaboração da solução baseando-se no problema apresentado. Segundo Collins (2014) esta etapa deve servir como fonte de referência para elaboração de possíveis ideias de IoT por meio de debates entre os envolvidos no desenvolvimento e de *brainstorm*. Para auxiliar nas atividades desta etapa, o autor recomenda a utilização de ferramentas como *Canvas* da IoT e o *Business Model* (ou *Lean*) *Canvas*, pois fornece uma orientação sobre as características que devem ser pensadas para a solução, como, por exemplo: “Definição do problema, identificação de coisas no ambiente do contexto, definição de modelos de dados, definição de *middleware* e esboço da interface de usuários” (COLLINS, 2014).

A etapa “Questionamentos” objetiva a resolução de perguntas que inviabilizem o projeto. Nesta etapa perguntas como “O quê, onde, quando, por que e como?” devem ser respondidas, assim como perguntas de viabilidade e análise do domínio. Segundo Collins (2014), as respostas podem ser organizadas em seis categorias: esboço do projeto, com respostas sobre o valor de negócio a ser entregue aos *stakeholders*; viabilidade, garantindo que o escopo do projeto possa ser executado; considerações práticas a serem destacadas após a definição do escopo; análise do problema, resumindo a solução de forma que atenda às necessidades dos *stakeholders*; *design* da topologia, garantindo a arquitetura da solução; e considerações de infraestrutura, eliminando dúvidas quanto a infraestrutura necessária e fornecida.

A etapa “Arquitetura” tem a finalidade de dividir as características da solução proposta em áreas específicas permitindo que especialistas do domínio possam obter melhores resultados, além de facilitar a escalabilidade. Para Collins (2014), uma arquitetura pode ser dividida em cinco camadas: dispositivos, conectividade, *middleware*, serviços e aplicações, conforme detalhamento a seguir:

- dispositivos: dispositivos que possuem papéis definidos, sejam para produzir dados, receber comandos ou fornecer serviços de gerenciamento. Exemplo: sensores, notificações por email, leitores RFID, atuadores, entre outros;
- conectividade: permite a comunicação entre os dispositivos e a camada *middleware*, seja ela com ou sem fio. Algumas das questões tratadas por esta camada são: segurança,

protocolos de roteamento, sessões de rede e confiabilidade, tendo como exemplo algumas tecnologias: TCP/IP, MQTT, IPv6, ZigBee etc.;

- *middleware*: camada padronizada para a conversão dos dados transmitidos e recebidos pela camada de conectividade, pois devida a possível característica heterogênea da solução os dados podem vir em formatos e codificações diferentes. Esta camada deve permitir a garantia de entrega de dados, *QoS*, privacidade e autenticidade para os serviços;
- serviços: propósito de processar os dados fornecidos e analisar as regras predefinidas formando a sensação de inteligência por parte da solução. Nesta seção os dados recebidos pelos sensores irão ser processados e comparados com regras pré-definidas disparando a ação programada, caso os dados atendam aos requisitos da regra;
- aplicações: *software* de uso dos *stakeholders* permitindo a administração da solução podendo gerenciar os serviços e dispositivos assim como dados dos dispositivos e informações processadas.

A etapa “Prototipagem” tem como princípio o desenvolvimento de aplicações com base na metodologia *Lean* que tem por base o desenvolvimento rápido das atividades essenciais sem desperdícios. Nesta etapa o autor expõe que a prototipagem segue o fluxo: desenvolvimento, teste, avaliação e iteração, transformando cada iteração em um módulo do projeto por inteiro, sem a preocupação com escalabilidade, autenticação ou *UX*.

A etapa “Implantação” tem como objetivo a implantação dos módulos do sistema no ambiente desenhado. Outras atividades desta etapa são descritas pelo autor, como, por exemplo: “corte no tempo de implantação, integração com unidades de teste, incentivo a colaboração de projetos existentes assim como fortalecimento no processo de compartilhar o conhecimento” (COLLINS, 2014).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo os objetivos do trabalho, esta pesquisa foi classificada como uma pesquisa aplicada, devido à utilização de fontes de conhecimento, tais como os conceitos apresentados no referencial teórico – capítulo 1 –, para a resolução de problemas do mundo real, que no contexto deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo de IoT para o Parque Estadual do Cantão.

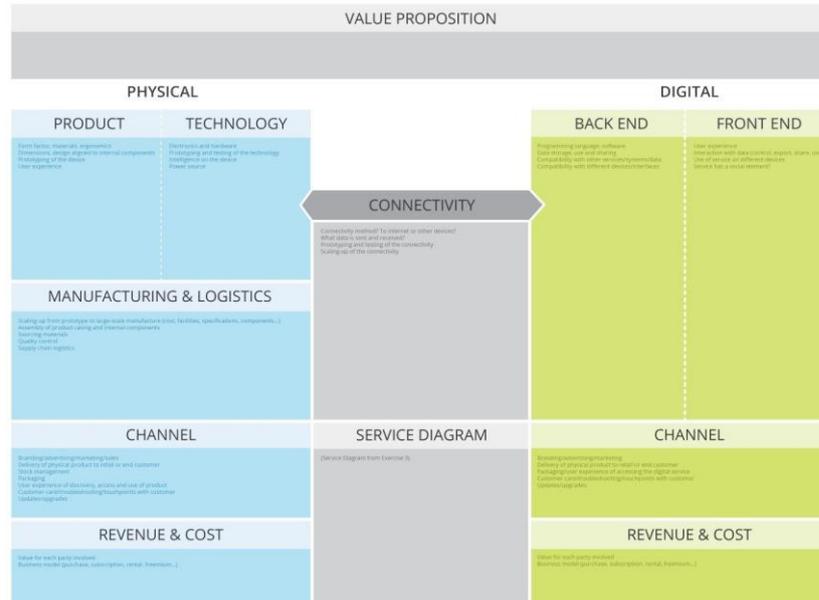
Quanto a natureza da pesquisa, este trabalho foi classificado como qualitativo devido a obtenção dos dados automatizado de um ambiente natural; o desenvolvimento do modelo de IoT; a mudança do modelo conforme as descrições das características do PEC; a importância na modificação do cotidiano animal e a influência no Meio Ambiente; e o raciocínio indutivo para o desenvolvimento do modelo de IoT.

#### 3.1 Objeto de estudo

Em razão da pequena quantidade de informações sobre a aplicação da IoT em áreas de proteção ambiental, o desenvolvimento de um modelo deste conceito para o Parque Estadual do Cantão foi um desafio devido ao contexto diferenciado. Para a definição de um modelo de IoT, foram considerados diversos fatores: problemas do local de aplicação, características do local de aplicação e recurso elétrico e de conectividade.

#### 3.2 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o *Canvas* para IoT com o intuito de facilitar no planejamento da proposta de solução para os problemas identificados no PEC. O *Canvas* para IoT é uma ferramenta desenvolvida em 2014 pela empresa Claro Partners e tem como objetivo fornecer uma visão geral de forma macro de soluções utilizando IoT, porém com enfoque comercial. A Figura 9 apresenta o *Canvas* para IoT desenvolvido pela Claro Partners (2014).



**Figura 9 – Canvas para IoT elaborado pela Claro Partners (2014)**

O *Canvas* para IoT abrange assuntos comerciais e técnicos de projetos utilizando IoT. Uma seção comercial do *Canvas* para IoT é o campo Proposta de Valor (do inglês, *Value Proposition*) que remete a qual o benefício de maior valor fornecido aos clientes; influenciada pela importância que o cliente categoriza o problema a ser solucionado, esta contribuição deve possuir o maior grau de relevância possível para o cliente.

Quanto a seção “Tecnologia” do *Canvas* para IoT, devem ser expostas as tecnologias utilizadas no projeto no que tange a *hardware*, sendo sensores, atuadores, dispositivos eletrônicos em geral que possam captar as informações ambientais. Quanto a seção “Produto”, deve-se destacar os materiais físicos a serem utilizados nos elementos da solução, por exemplo: borrachas, caixas e lacres.

A seção “Manufatura e Logística” remete a fabricação e entrega dos componentes ou do produto completo, pois em situações em que o produto possui logística ruim para ser adquirido, haverá problema quanto a implantação do projeto e conseqüentemente a sua manutenção. Em relação ao “Impacto Ambiental”, esta seção chama a atenção quanto a influência do dispositivo elaborado para a solução no meio ambiente. Luzes, sons e volume do aparelho são fatores que podem alterar o meio ambiente.

Quanto a seção “Receitas e Custos” (da parte física do *Canvas*), deve-se expor os valores de receita e despesa prováveis para o equipamento que está sendo analisado pelo *Canvas*. A seção “Conectividade” indica a forma com que os dispositivos se comunicarão dentro da solução, transmitindo via cabo ou *wireless* e quais tecnologias serão utilizadas. Quanto a seção “Back End”, questões sobre *softwares* a serem utilizados, APIs consumidas e

valores cobrados por esses *softwares* devem ser analisados, seja para tratamento, processamento ou armazenamento dos dados.

Em relação a seção “Front End”, a seção deve ser utilizada para relatar os *softwares* que serão aplicados na solução para a exibição das informações processadas no *back end* e que são informações relevantes. Quanto a seção “Canal”, devem ser listados as formas como os usuários terão acesso aos resultados, ou seja, acesso ao *Front End*.

A seção “Receitas e Custos” (da parte digital do *Canvas*), devem ser descritas as receitas e despesas da parte digital do *Canvas*, como licenciamento de utilização de *softwares* e assinaturas de acesso a ferramentas terceirizadas. A seção “Diagrama de Serviço” é a representação visual do fluxo de comunicação de cada elemento da solução. Para tal seção, a Claro Partners (2014), desenvolvedora deste *Canvas* para IoT, recomenda a utilização de seus *cards* que são apresentados na Figura 10.

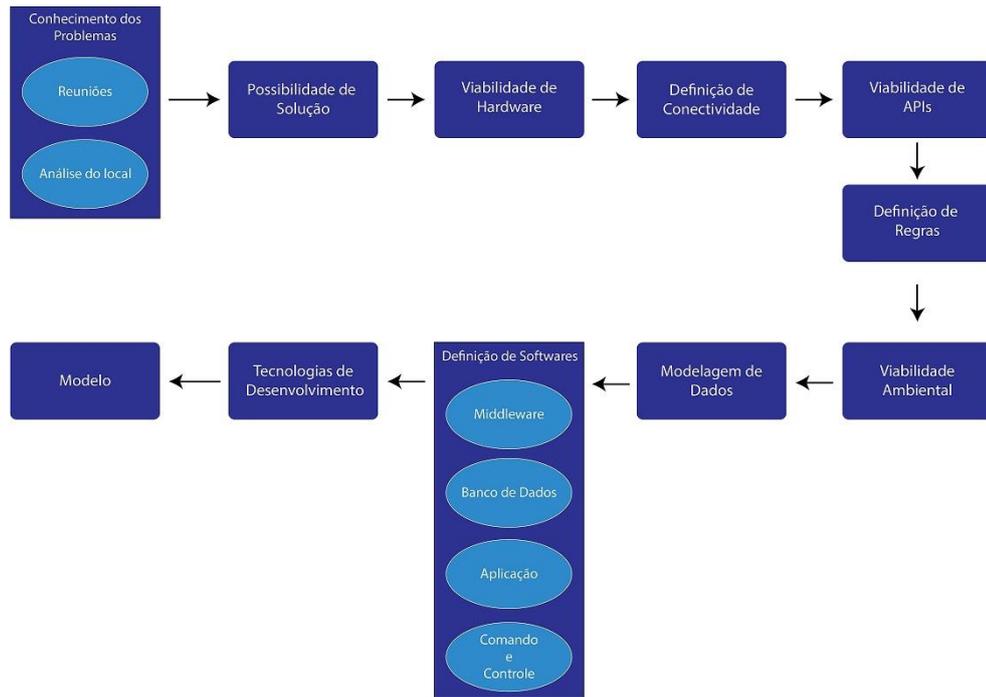


**Figura 10 - Cards apresentados pela Claro Partners para elaboração do diagrama de serviço do *Canvas* para *IoT***

A Figura 10 apresenta diversos *cards* que são utilizados para a representação visual do fluxo de comunicação entre os dispositivos de uma solução de *IoT*. Cada *card* representa um tipo de elemento dentro da solução, possuindo *cards* para a representação de dispositivos de forma geral, sensores, atores, interfaces e nuvem.

### 3.3 Procedimentos

Os procedimentos necessários para o desenvolvimento de um modelo de *IoT* para o Parque Estadual do Cantão foram divididos em onze etapas que são ilustradas pela Figura 11.



**Figura 11 – Processo para a definição de um modelo de IoT**

A Figura 11 apresenta as onze etapas que foram utilizadas no desenvolvimento do modelo de IoT tendo como contexto o Parque Estadual do Cantão. As etapas ilustradas pela Figura 11 foram elaboradas a partir da metodologia de desenvolvimento de aplicações de IoT apresentada por Collins (2014) e adaptadas para o contexto deste trabalho.

Para que o problema desta pesquisa pudesse ser resolvido, uma das etapas cruciais foi a compreensão do contexto, ou seja, o Parque Estadual do Cantão, suas características e necessidades. Com isso, a primeira etapa do processo ilustrado pela Figura 11 remete a identificação dos problemas enfrentados pela administração do PEC que possam ser solucionados com a IoT, possibilitando o desenvolvimento de um modelo de IoT que possa ser implantado no PEC. Para esta primeira etapa, foram realizadas as seguintes atividades: pesquisa em websites, reuniões e análise do local, que são detalhadas abaixo.

Foram executadas pesquisas na *web* sobre o PEC em diversos sites, entre eles portais de notícias, *blogs*, portais especializados, e em especial o portal de unidades de conservação do Estado do Tocantins ([www.gesto.to.gov.br](http://www.gesto.to.gov.br)) e o *website* do Instituto Araguaia ([www.araguaia.org](http://www.araguaia.org)), organização com base dentro do PEC.

Uma das atividades da etapa “Conhecimento dos Problemas” é a de execução de reuniões com os profissionais e representantes do Parque Estadual do Cantão, que são intitulados neste documento de *stakeholders*. Foram realizadas reuniões com os seguintes envolvidos:

- biólogo Marcos Leão no dia 13/02/2015;
- gestora ambiental Selene Leite Vital no dia 13/02/2015;
- diretor de biodiversidade Maurício José, gerente de biodiversidade Jorge Leonam e a técnica Elma Trevia que no dia 14/08/2015 representaram o órgão governamental responsável pela administração do PEC, Naturatins (Instituto Natureza do Tocantins); e
- ecóloga Silvana Campello e bacharel em física George Georgiadis, presidente e diretor, respectivamente, do Instituto Araguaia de Proteção Ambiental (organização atuante no PEC) no dia 28/08/2015.

As reuniões foram importantes para a compreensão da situação atual do PEC, assim como os problemas enfrentados em diversos períodos climáticos e em suas fronteiras.

A outra atividade da etapa “Conhecimento dos Problemas” foi a visita ao PEC que ocorreu no dia 28/08/2015 e que foi importante para que os problemas pudessem ser analisados presencialmente. Tal visita auxiliou no desenvolvimento da solução e, conseqüentemente, do modelo a ser proposto. A visita ao ambiente foi proveitosa de forma que o modelo pudesse ser elaborado considerando as características do local, minimizando o risco de falhas e aumentando a qualidade da solução.

Após a obtenção de informações sobre problemas e características climáticas, de infraestrutura e recursos disponíveis do PEC, decidiu-se na elaboração de um modelo de IoT considerando o monitoramento de umidade e temperatura do Parque Estadual. Esta decisão foi tomada devido aos custos dos dispositivos eletrônicos e a não especificação de características do ambiente que pudessem fornecer maior valor para a administração do Parque. Na etapa “Possibilidade de Solução” foram idealizados dispositivos e serviço terceirizado a serem utilizados, regras a serem elaboradas e comunicações a serem utilizadas que fizeram parte do modelo proposto. Essas características idealizadas foram guiadas pela utilização do *Canvas* para IoT, que teve como propósito destacar as principais características da solução utilizando IoT.

Na etapa “Viabilidade de Hardware” foi estudada a possibilidade de utilização dos *hardwares* definidos na etapa anterior, este estudo foi de cunho teórico com base nas informações públicas dos dispositivos e tecnologias. Para a análise de tal possibilidade foram levados em consideração fatores como: existência da comercialização do *hardware*, grau de complexidade para a obtenção (e.g. importação ou mercado nacional), dados fornecidos pelo

*hardware*, ambiente de utilização (externo ou interno), consumo elétrico do *hardware*, e a relação Custo X Benefício.

A etapa “Definição de Conectividade” teve como objetivo a identificação de quais tecnologias foram utilizadas entre cada elemento da solução. Nesta etapa foi elaborado um diagrama de comunicação da solução expondo as tecnologias de comunicação considerando as opções disponíveis para cada elemento.

Na etapa “Viabilidade de APIs” teve-se como objetivo o estudo da possibilidade de utilização de dados e informações pertencentes a outros *softwares*. Nesta etapa foi realizada a busca de informações sobre quais dados podem ser obtidos por meio de uma API própria para obtenção de dados externos, como dados fornecidos pelo *website* Climatempo ([www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br)) ou pelo site *Weather Underground* ([www.wunderground.com](http://www.wunderground.com)).

A etapa “Definição de Regras” remete a elaboração das regras que serão executadas a partir de dados recebidos, ou seja, é um conjunto de determinações que são executadas em forma de reação a alguma situação representada pelos dados percebidos pelos sensores. Esta etapa foi importante para o modelo pois é o que torna a solução inteligente, capaz de reagir automaticamente a determinadas situações, sem a intervenção de um ser humano. As regras foram elaboradas nesta etapa baseando nos dados obtidos pelos sensores e por informações obtidas por *softwares/instituições* confiáveis.

Na etapa “Viabilidade Ambiental” foram encaminhadas as informações obtidas até o momento desta etapa para os *stakeholders* e profissionais ambientais. Essas informações foram enviadas a fim de obter uma análise da viabilidade da aplicação do modelo, levando em consideração pontos como: interferência do modelo na vida selvagem da fauna e/ou impossibilidade de implantação devida as características exigidas pelo equipamento.

A etapa de “Modelagem de dados” remete ao mapeamento de dados trafegados entre toda a solução. Nesta etapa foram identificados quais são os elementos que podem enviar e receber dados, quais dados são enviados, qual tipo de formato de cada um deles, quais são as entradas de dados, o processamento necessário para a transformação destes dados, periodicidade da captação e transmissão dos dados, procedimento em caso de perda do elemento (e.g. defeito físico) e a apresentação desses dados para os *stakeholders*. Esta etapa permitiu um conhecimento de baixo nível de todos os dados a serem trabalhados na solução.

A etapa “Definição de Softwares” possuiu quatro atividades que, em conjunto, tiveram como propósito o esforço de definir quais *softwares* devem ser utilizados para melhor performance entre os elementos e quais podem trazer melhores benefícios para a solução. Na primeira atividade, “*Middleware*”, foi definido qual *software* pode ser utilizado para

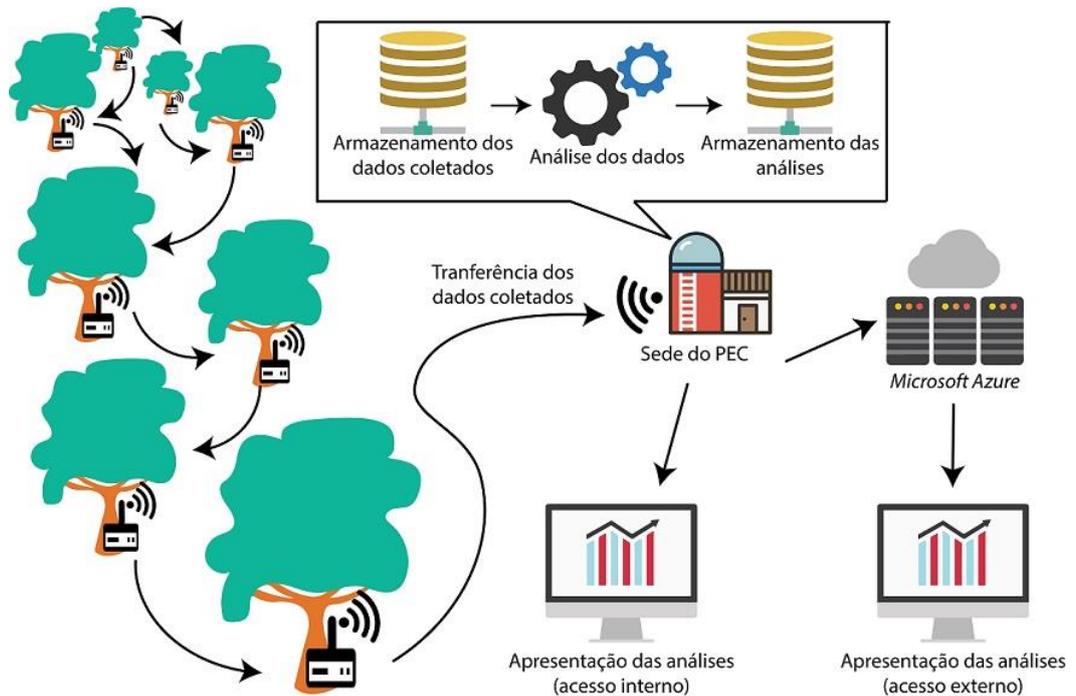
interpretar as mensagens transmitidas e recebidas pelos dispositivos, pois tais dispositivos podem utilizar métodos de comunicação diferentes dos utilizados pelos computadores, sendo necessário, então, um tradutor de mensagens. Na atividade “Banco de Dados”, foi definido o gerenciador de banco de dados que melhor se adequa as necessidades da solução, levando em consideração fatores como: relacionamento entre dados, volume de dados e performance quanto à recuperação e inserção de dados. Na terceira atividade, “Comando e Controle”, foi definido o *software* a ser utilizado para armazenar e gerenciar as regras da solução, sendo este responsável por disparar a(s) ação(ões) quando alcançada alguma situação estipulada em regra(s). Na última atividade, “Aplicação”, foi definido qual *software* pode ser utilizado para o monitoramento da solução, apresentando as informações a serem processadas e os resultados obtidos das análises efetuadas oriundos dos dados obtidos pelos sensores e por serviços terceirizados.

A etapa “Tecnologias de Desenvolvimento” teve como objetivo a definição de quais linguagens e *softwares* de desenvolvimento (e.g. IDEs, bibliotecas) podem ser utilizados em cada elemento da solução, desde os elementos inteligentes, como sensores e atuadores, até as aplicações em nuvem passando por *softwares* nos servidores. Nesta etapa as ferramentas de desenvolvimento de *software* foram enumeradas em cada ponto da transferência dos dados (e.g. sensores e servidores), permitindo com essa enumeração a visão completa de todas as ferramentas a serem utilizadas e a complexidade propiciada pela heterogeneidade das linguagens e *softwares*.

A última etapa do processo, “Modelo”, é o agrupamento das informações obtidas e definidas pelas etapas anteriores, formando, então, o modelo de IoT para o Parque Estadual do Cantão e alcançando o objetivo deste trabalho.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as informações fornecidas na seção “Internet das Coisas”, o contexto ambiental do PEC e a metodologia apresentada na seção anterior, foi elaborada uma visão geral da aplicação de um projeto de IoT para o PEC, conforme apresentada na Figura 12.



**Figura 12 - Funcionamento da IoT no PEC**

Na solução ilustrada pela Figura 12 são apresentados módulos com capacidade de percepção do ambiente que podem captar os dados de temperatura e umidade do ambiente e enviar em cadeia até a sua recepção na sede do PEC. Após a recepção, os dados são armazenados e passam pelo processo de análise gerando então informações relevantes que são, posteriormente, armazenadas. Estes dados e informações são enviados para a internet utilizando o serviço de nuvem *Microsoft Azure* que serve como banco de dados para acesso aos dados e informações para usuários externos ao PEC. Para acessos oriundos do próprio Parque, pode ser utilizado um banco de dados local fornecendo acesso aos dados e informações mais atuais.

Esta seção apresenta os resultados desse projeto em quatro partes: ideação, comunicação, contenção de riscos e processamento e apresentação.

#### 4.1 Ideação

Para alcançar o objetivo desta etapa, foram executadas reuniões (citadas no capítulo anterior) a fim de conhecer os problemas, características e restrições do PEC. Essas informações foram importantes para a escolha de quais equipamentos utilizar.

Por meio das reuniões realizadas, foi possível tomar conhecimento de características do PEC que auxiliaram na compreensão de como a unidade de conservação funciona. Características como inundações em épocas de chuvas, fronteira com diversas fazendas agropecuárias, berçário de peixes do médio Araguaia, fuga da fauna para fora do PEC em época de cheia dos rios, entre outras, foram consideradas para a elaboração da solução.

Durante as reuniões foram destacados diversos problemas do PEC, entre eles estão: caça e pesca predatória, agricultura intensiva, desmatamento para pecuária, turismo desordenado, incêndios criminosos e necessidade de dados para mensuração do estado de conservação. Quanto a caça e pesca predatórias, José, Leonam e Kramer (2015) afirmaram que acontecem mais intensivamente em épocas de seca, pois é quando são formados os lagos considerados berçários de peixes e com isso facilita o processo de pescagem.

Ainda segundo os autores, as principais pessoas que cometem esses crimes se dizem, no momento em que são abordados pela fiscalização, serem visitantes/moradores de assentamentos a beira dos rios que compõem o PEC, além disso, moradores das cidades vizinhas ao parque, tanto do lado do Estado do Tocantins quanto no lado do Estado do Pará.

Quanto a agricultura intensiva, há uma preocupação quanto a influência dos agrotóxicos nos recursos naturais do PEC. Existe a real possibilidade que os produtos químicos sejam escoados para os rios e lagos que compõem o Parque prejudicando a fauna e flora protegida. Para a diminuição do risco de contaminação dos recursos hídricos, está sendo discutido pelo conselho do PEC a implantação de uma zona de amortecimento que tem como objetivo ser uma área de transição entre a área protegida e as degradações causadas pelas ações do ser humano.

Quanto ao desmatamento para pecuária, os entrevistados afirmam que o PEC está ilhado devido ao desmatamento e que isto ameaça a sua biodiversidade por não haver mata ao redor para que a fauna possa se abrigar durante as cheias dos rios. Além disso, a mata que havia no entorno do Parque auxiliava na manutenção das características climáticas da região e que agora podem sofrer alterações devida a essa exploração.

Quanto ao turismo desordenado e incêndios criminosos, estes assuntos estão relacionados, pois segundo José, Leonam e Kramer (2015), alguns incêndios ocorridos no PEC são provenientes das ações dos turistas em épocas de maior volume. Para o auxílio no

combate aos incêndios, o órgão responsável pelo Parque está com um processo em andamento para aquisição de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT).

Quanto a necessidade de dados para mensuração do estado de conservação do PEC, informações de temperatura e umidade sobre o Parque são consideradas pelos entrevistados como informações importantes para o monitoramento dessas características e que atualmente não são acompanhadas. O monitoramento dessas características pode fornecer subsídios para identificação das consequências do desmatamento e utilização de agrotóxicos nas proximidades do PEC além de fornecer dados para auxiliar na mensuração do estado de conservação da UC. Dentre os problemas identificados, o monitoramento do estado de conservação do PEC é uma das atividades da UC para comprovar que os esforços de proteção ambiental da região estão sendo garantidos e suficientes. Com o objetivo de fornecer dados que pudessem auxiliar na mensuração do estado de conservação do PEC, foi desenvolvido neste trabalho um Modelo de IoT para o PEC utilizando dados de temperatura e umidade, que são informações consideradas importantes por todos os entrevistados.

Além das reuniões, foi feita uma visita ao PEC no dia 28/08/2015, o que permitiu conhecer as características destacadas pelos envolvidos nas reuniões supracitadas. Essa visita coincidiu com a reunião do conselho do Parque a respeito da zona de amortecimento.

Para o desenvolvimento desta etapa, foi utilizado o *Canvas* para IoT, porém, este foi adaptado ao contexto ambiental. O *Canvas* para IoT possui como foco o desenvolvimento de soluções que gerem valor para seus clientes e que conseqüentemente possam ser convertidos em retorno financeiro às empresas. O *Canvas* para IoT aplicado ao contexto ambiental também tem como objetivo a geração de valor, mas esse valor é compreendido a partir de outros aspectos, ou seja, projetos relacionados a unidades de conservação não tem como propósito um retorno financeiro, mas o desenvolvimento sustentável, a preservação ambiental e um futuro ecologicamente equilibrado. Com isso, a Figura 13 apresenta um *Canvas* para IoT adaptado ao contexto de unidades de conservação

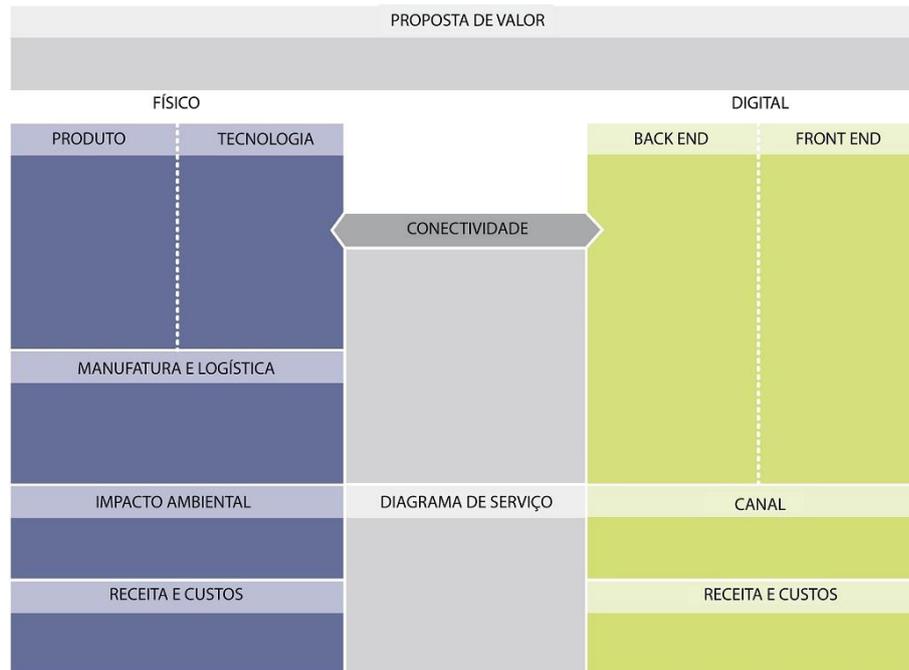


Figura 13 – *Canvas* para IoT adaptado para unidades de conservação. Adaptado de Partners

A Figura 13 apresenta o *Canvas* para IoT adaptado sendo que na forma original não havia a seção Impacto Ambiental que foi inserida em substituição da seção Canal. A modificação foi motivada pelo fato do *Canvas* não ter sido desenvolvido pensando em soluções ambientais e que por este motivo necessitava de adaptações. O fator Impacto Ambiental, que é importante ser considerado em soluções de contexto ambiental, não havia no *Canvas*, o que fortaleceu a decisão de substituir a seção Canal pela seção Impacto Ambiental. A seção Impacto Ambiental trouxe ao *Canvas* a preocupação de que além de funcional, o projeto deve impactar o mínimo possível, pois se trata de uma área responsável por manter as características naturais dos biomas. Esta nova seção foi preenchida considerando os critérios listados na Tabela 1 para a avaliação de impacto ambiental.

Tabela 1 – Estudo de Impacto Ambiental

Grau de Impacto	Descrição
<b>Baixo</b>	A utilização de recursos naturais é desprezível quanto ao esgotamento. A degradação ao meio ambiente, ou à comunidade, é desprezível e reversível.
<b>Médio</b>	A utilização de recursos naturais é considerada sem haver possibilidade de esgotamento das reservas naturais. A degradação ao Meio Ambiente, ou à comunidade, é reversível, porém com ações imediatas.
<b>Alto</b>	Há possibilidade de escassez dos recursos naturais. A degradação no

	Meio Ambiente, ou à comunidade, impacta com probabilidade de irreversibilidade.
--	---

Fonte: Água e Terra Planejamento Ambiental Ltda. ([2012])

A avaliação foi efetuada pelos próprios profissionais da área da tecnologia a partir de pesquisas em trabalhos relacionados ao tema, de forma que esta seção do *Canvas* tem como objetivo a indicação prévia do impacto a ser causado no meio ambiente, sendo que uma análise técnica será elaborada posteriormente na etapa “Viabilidade Ambiental”.

Ainda sobre modificações efetuadas no *Canvas* para IoT, os *cards* sugeridos pela desenvolvedora do *Canvas* também sofreram modificações. O conjunto de *cards* teve o incremento de dois novos *cards*: Servidor Local e Serviço. O *card* Servidor Local foi adicionado pois, após a análise dos elementos a serem utilizados em uma solução voltada ao monitoramento de umidade e temperatura do PEC, notou-se a importância da existência de um servidor localizado na sede da UC por não haver conexão estável e constante à Internet. A fim de evitar a perda de uma grande quantidade de dados por não haver conexão constante à internet e um servidor local na UC, foi decidido incrementar o *card* Servidor Local por se tratar de uma importante característica de Unidades de Conservação. Quanto ao *card* Serviço, foi identificado que dados complementares aos dados captados no PEC podem ser úteis para a geração de informações mais completas sobre o parque e por não possuir um *card* que expressasse essa função dentro do conjunto de *cards* oferecido pela Partners (2014), foi decidido incrementar o *card* Serviço.

A Figura 14 ilustra o *Canvas* para IoT preenchido com informações de um projeto de monitoramento de umidade e temperatura do PEC.



**Figura 14 – Canvas para IoT adaptado para o contexto ambiental**

Na seção “Proposta de Valor” da Figura 14 é apresentado um valor significativo que a UC terá ao ser implantado o projeto. Segundo a WWF Brasil (2006), o aumento na temperatura de apenas 2°C poderia ter efeitos como: perda de 95% dos corais, 43% das florestas para categorias não-florestas e extinção de 25% das espécies. Para o PEC, segundo as reuniões realizadas com os envolvidos, o acompanhamento da temperatura e umidade é importante para que eles possam utilizar como métrica para mensuração do estado de conservação do Parque. Essas informações colaboram na identificação de alterações climáticas da UC o que pode indicar atividades degradatórias no entorno do Parque.

Em relação a parte “Física” do *Canvas*, tem-se como material não-tecnológico a utilização de uma caixa acrílica na cor preta para o encapsulamento dos dispositivos eletrônicos, a fim de proteger os mesmos de eventuais interferências ambientais que possam prejudicar o bom funcionamento do equipamento e para eliminar a emissão de luzes que possam interferir na fauna. À parte tecnológica são atribuídos sensores de temperatura e umidade, módulo de *Real Time Clock* (RTC – para obtenção da data e horário), controlador Arduino UNO e uma placa de rede sem fio XBee. Os sensores de temperatura e umidade são os dispositivos que captaram as características ambientais que foram repassadas ao controlador. O módulo RTC identifica a data e o horário e encaminha esses dados ao controlador. O controlador recebe os dados de temperatura, umidade e horário e encaminha-os à placa XBee para a transmissão dos dados para o servidor.

Para a seção “Manufatura e Logística” decidiu-se que devido à escassez de comércio especializado em Arduino em Palmas (Tocantins) e devido à relação custo *versus* benefício dos produtos dos portais de comercialização de equipamento para Arduino, os dispositivos a serem utilizados na aplicação deste projeto podem ser obtidos através da compra *online*. Para uma aplicação real, esta seção poderá ser preenchida com detalhes de uma possível parceria entre o implantador de projeto e as fábricas ou distribuidoras dos dispositivos necessários, podendo diminuir os custos com recurso tecnológico e obter maior segurança no fornecimento dos equipamentos.

A seção “Impacto Ambiental” foi preenchida considerando a Tabela 1 que apresenta os graus de impacto ambiental em relação às influências e degradação que a solução terá nos recursos naturais. A seção “Receita e Custos” exibiu que não há receita com a comercialização da parte física do projeto, mas há custo de elaboração do módulo. O custo apresentado no *Canvas* é o valor de cada unidade do módulo. O custo de aproximadamente R\$1.000 engloba o custo dos equipamentos baseando em pesquisa em *websites* especializados em equipamentos para Arduino, custo para a montagem do equipamento, custo de desenvolvimento do *software* embarcado e dos materiais (caixa de acrílico e cadeado). As pesquisas dos valores foram feitas com base em valores encontrados na Internet com valores por unidades, não sendo considerado descontos por compra em grande quantidade.

A seção “Conectividade” destacou a utilização de dispositivos XBee de alto alcance para a transmissão dos dados ambientais captados. Alguns dispositivos XBee permitem a utilização da topologia de rede DigiMesh. Desenvolvida pela Digi International (2008), a topologia DigiMesh é uma alternativa para a topologia ZigBee, que foi desenvolvida para que seja auto gerenciada e para dispositivos de baixo consumo elétrico. O diferencial da DigiMesh é que não existem nós exclusivamente controladores, ou seja, todos os nós da rede são controladores e pontos finais. Com isso, a rede se torna auto gerenciada e com aproveitamento de todos os nós. Com a utilização da topologia DigiMesh, será possível a transmissão dos dados de temperatura, umidade e data/horário para a sede através dos próprios nós, transmitindo em cadeia até alcançar o servidor.

Em relação a parte “Digital” do *Canvas* para IoT, a seção “Back end” apresentou três tipos de tecnologias: *middleware*, armazenamento e análise de dados. Quanto ao *middleware* foram apresentadas duas tarefas que o *software* a ser desenvolvido pelo projeto deve possuir: conversão de tipo de dados e organização de dados. A organização de dados deve montar uma estrutura de dados de forma que os dados captados não fossem misturados, induzindo a

análise de dados a gerar informações errôneas. Quanto ao armazenamento foram destacadas duas soluções: *SQL Server 2014* e *Microsoft Azure*.

O *SQL Server* deve ser utilizado para o armazenamento dos dados obtidos em campo, das análises efetuadas e como base de dados para o sistema local de apresentação de informações. O *Microsoft Azure* possui o mesmo objetivo do *SQL Server* com a diferença de servir como base de dados para um sistema remoto (nuvem) de apresentação de informações, sendo alimentado constantemente enquanto houver conexão à internet no PEC.

Quanto a análise de dados, existem *softwares* gratuitos disponíveis na Internet, porém, não foi encontrado até o momento do desenvolvimento deste trabalho uma versão *off-line* dos mesmos, o que se torna inviável para o PEC devida a falta de regularidade da conexão à internet. Com isso, há a necessidade de desenvolvimento de um *software* de análise de dados contendo funções como: gerenciamento da representação virtual dos nós, sumarização de dados (média geral, média por setores do PEC, média por hora) e gerenciamento de regras.

Devido ao mesmo motivo da seção “Back end”, a seção “Front end” apresentou a necessidade do desenvolvimento de um *software* para a apresentação das informações geradas pelo sistema de análise de dados. Para o *software* a ser desenvolvido, foram destacados no *Canvas* algumas características que o mesmo deve possuir: visualização dos nós em mapa, médias gerais e setoriais do PEC, pontos críticos, pontos com considerável diferença de valores e aplicação de filtros de pesquisa. Este *software* deve ser utilizado tanto para conexões internas (PEC) quanto para conexões através da internet, tendo diferentes bancos de dados para cada situação. Caso o sistema seja utilizado em redes externas, o banco de dados a ser utilizado deve ser o disponibilizado em nuvem e caso o sistema for utilizado em rede interna (PEC), o banco de dados a ser utilizado deve ser o *SQL Server 2014*. Como forma de acesso ao sistema desenvolvido em “Front end”, foi especificado na seção “Canal” que o sistema deve possuir acesso através da disponibilização em rede local para usuários que estiverem nas instalações do PEC e através do portal Cantão desenvolvido pelo CEULP/ULBRA ([www.ulbra-to.br/cantao](http://www.ulbra-to.br/cantao)), caso os usuários estejam fora das instalações do PEC e que estejam conectados à internet.

Quanto a seção “Receitas e Custos”, foi descrito no *Canvas* que além de custos básicos de estrutura (energia elétrica e internet) existe a prestação de serviço da *Microsoft Azure* para que seja possível a utilização de banco de dados em nuvem. Como forma de receita para o projeto, definiu-se a busca de verba em órgãos de fomento à pesquisa, principalmente órgãos de incentivo ao desenvolvimento de pesquisas na Amazônia Legal.



apresentação de informações descrito na etapa “Front end” do *Canvas*. O sistema de visualização de informações disponibiliza também por meio de rede local, sendo esta a forma mais segura de acesso às informações, pois o acesso à internet no PEC é intermitente, o que causaria problema caso o sistema fosse exclusivamente *online*.

## 4.2 Comunicação

Esta seção apresenta os resultados das etapas “Viabilidade de *Hardware*”, “Definição de Conectividade” e “Viabilidade de APIs” da metodologia.

A seção Ideação deste documento apresentou os elementos que foram utilizados na solução, porém, não foram apresentados os modelos de cada elemento, pois cabe a etapa “Viabilidade de *Hardware*” avaliar a possibilidade de utilização dos elementos e quais modelos devem ser utilizados.

A etapa “Viabilidade de *Hardware*” deste projeto avaliou os elementos Arduino, dispositivo XBee, sensor de temperatura, sensor de umidade, módulo RTC (*Real Time Clock*) com base na documentação fornecida pelos fabricantes permitindo compreender parte de suas capacidades e restrições.

O controlador Arduino foi escolhido por ser gratuito, *open-source*, mundialmente conhecido, ser de baixa complexidade de programação e por aceitar dispositivos analógicos e digitais atrelados a ele. Para este projeto foi definida a utilização do modelo Arduino UNO, pois fornece quantidade de entrada de dados suficiente para o recebimento dos dados dos sensores de temperatura e umidade, módulo RTC e a utilização do Módulo XBee. Além disso, o Arduino UNO possui características benéficas para o projeto, como: pequeno, funcionamento a pilhas ou baterias e baixo custo em relação aos concorrentes.

O dispositivo XBee foi desenvolvido e é produzido pela Digi International. A escolha por dispositivos XBee deu-se pelo fato de terem sido desenvolvidos para baixo consumo elétrico, possuir possibilidade de utilização em Arduinos, utilização da topologia de rede DigiMesh e alguns modelos possuem grande alcance (quilômetros). Para este projeto foi indicado o modelo XBee-PRO 900HP que é capaz, segundo a documentação, de alcançar a marca de 6.5 km de distância entre cada elemento utilizando antenas de 2.1dB, além da utilização da topologia de rede DigiMesh que é de grande valia para este projeto pois elimina a necessidade de instalação de torres de comunicação dentro da área de proteção.

Os sensores de temperatura e umidade, após a avaliação das versões disponíveis em lojas especializadas em Arduino, foi decidida a utilização do dispositivo AM2302 que traz consigo sensores de umidade e temperatura integrados no mesmo dispositivo. Com a

utilização do AM2302 é possível economizar nas entradas de dados do Arduino, permitindo que as entradas sobressalentes possam ser utilizadas futuramente para acrescentar um novo sensor ou dispositivo. O AM2302 consegue mensurar temperaturas entre -40 graus Celsius a 80 graus Celsius e umidade entre 0% e 100% com margem de erro de aproximadamente 2% para umidade e 0.5 graus Celsius para a temperatura. Após a mensuração, o controlador solicita ao dispositivo AM2302 os dados de temperatura já em graus Celsius e a umidade já em porcentagem<sup>1</sup>.

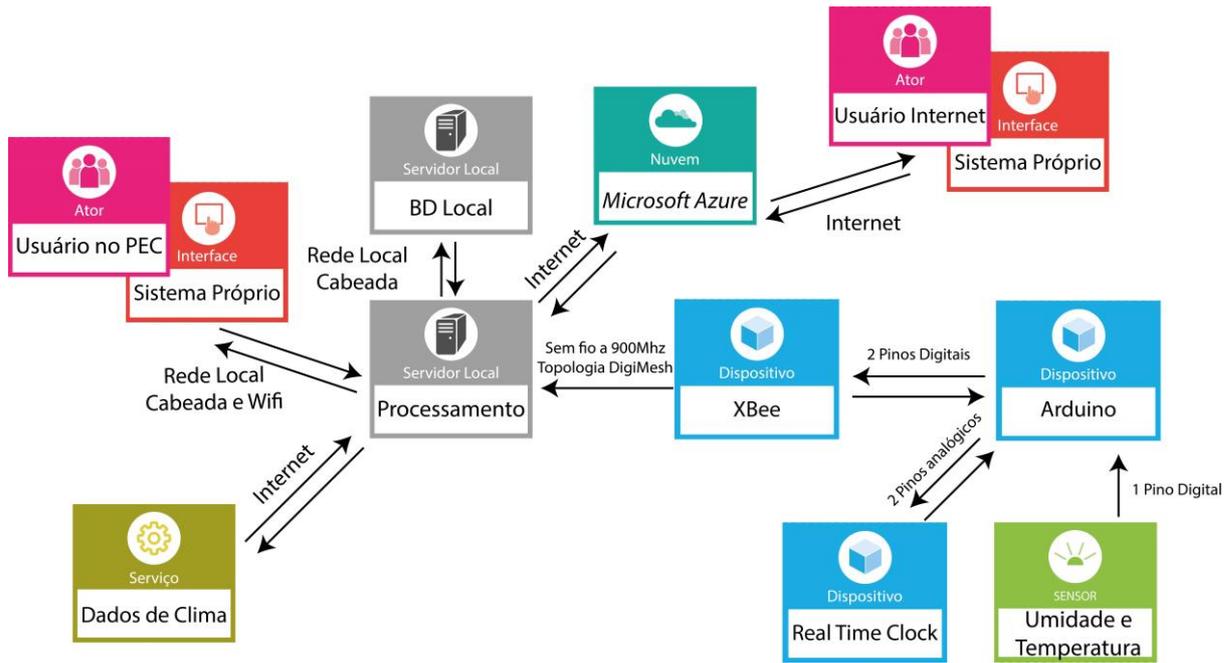
O módulo RTC (Real Time Clock) é um dispositivo que registra a data e horário atual. Este dispositivo funciona com duas fontes de energia: alimentação externa e bateria. No momento em que o dispositivo perde as fontes de energia, a configuração de data e horário voltam ao padrão de fábrica. Para que as leituras dos dados possam ser feitas, é necessário que o dispositivo esteja conectado a um controlador, sendo que a bateria interna é um sistema de alimentação energético de segurança, caso a fonte externa não forneça mais eletricidade suficiente. A bateria interna do dispositivo tem vida útil de dez anos, considerando a temperatura de 25° Celsius. Ao inicializar o dispositivo pela primeira vez, é necessário configurar a data e horário local pois o padrão de fábrica provavelmente estará desatualizado. Após esta configuração, o dispositivo já começa a contabilizar os segundos, minutos, horas, dia, mês, ano e dia da semana. Para o acesso a esses dados, é necessário ligá-lo a um controlador Arduino e solicitar os segundos, minutos, horas, dia, mês e ano, separadamente<sup>2</sup>.

Para a etapa “Viabilidade de Conectividade” foi desenvolvido um diagrama das conexões entre cada elemento da solução. Esse diagrama é apresentado pela Figura 16.

---

<sup>1</sup> Utilizando a biblioteca disponível no link: <https://codebender.cc/library/DHT#DHT.h>

<sup>2</sup> Utilizando a biblioteca disponível no link: <https://github.com/rodan/ds3231>



**Figura 16 – Diagrama de Conectividade da solução**

Exibindo as conexões dos elementos da solução, a Figura 16 fornece uma melhor forma de visualizar os tipos de conexões envolvidas no projeto. Os dispositivos atrelados ao Arduino UNO utilizam três pinos digitais e um pino analógico para que seja possível obter os dados do ambiente e transmiti-los por meio do XBee PRO 900HP utilizando a topologia de rede DigiMesh.

Ao receber os dados ambientais, o sistema de Processamento da solução utiliza a rede local para comunicar com o servidor de Banco de Dados Local e armazenar os dados, permitindo consequentemente, que os dados sejam acessados por qualquer lugar do PEC que estiver na área de cobertura da rede sem fio local ou com acesso a um ponto de rede local. A API do sistema de Processamento deve possuir acesso à internet para obter os dados do site [climatempo.com.br](http://climatempo.com.br) ou do site [wunderground.com](http://wunderground.com), como parte dos dados utilizados para análise dos dados e para a atualização do banco de dados da *Microsoft Azure*, permitindo que usuários de fora do PEC possam acessar as informações.

Quanto a alimentação elétrica dos equipamentos, deve-se utilizar seis pilhas AA de 1.5v e 2.400mA. Ligando essas pilhas em série foi gerada uma corrente de 14.400 mA, fornecendo recurso como recurso elétrico para a execução dos dispositivos. A Tabela 2 apresenta o consumo elétrico de cada componente do módulo a ser desenvolvido para o PEC, sendo que os valores apresentados foram extraídos da documentação oficial de cada equipamento, exceto do Arduino UNO que foi feita a medição utilizando um multímetro em uma unidade do controlador sem qualquer programação gravada em sua memória.

Tabela 2 – Consumo elétrico de cada elemento

Dispositivo	Ativo
Sensor Temperatura e Umidade	2,5 mA/h
RTC 3231	1 mA/h
XBee-PRO 900HP	244 mA/h
Arduino UNO	50 mA/h
<b>Total:</b>	<b>297,5 mA/h</b>
<b>Total por dia:</b>	<b>1259,5 mA/dia</b>

Para os cálculos foram consideradas as seguintes características: o tempo total para que o Arduino ligue, receba os dados dos sensores, transmita-os utilizando o XBee e entre em modo *sleep* é de 30 segundos a cada hora do dia, resultando em 720 segundos por dia; e não considerado o desgaste natural de carga das pilhas. Somando o consumo elétrico de cada elemento, chegou-se ao valor de 297,5 mA/h. Considerando que os dispositivos ficaram ativos, recebendo dados dos sensores e transmitindo-os durante 30 segundos por hora, o consumo por dia é de 297,5 mA, pois mesmo que não esteja sendo efetuadas as medições ambientais e nem mesmo a transferência de dados, o controlador Arduino permanecerá ativo consumindo 50 mA/h. Ao final do dia, o dispositivo consumiu 1259,5 mA. Considerando a corrente total de 14,400 mA, o dispositivo teve uma autonomia de funcionamento de aproximadamente 11 dias. A autonomia foi considerada um problema para o projeto, porém, podem ser resolvidos de diversas formas. Estas soluções serão explicadas na seção “Trabalhos Futuros”.

Quanto a etapa “Viabilidade de APIs”, foi definido o desenvolvimento de uma API própria para o consumo de *websites* que fornecem dados sobre o clima de diversas cidades do Brasil. O *website* recomendado por esse trabalho é o Climatempo ([www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br)). Para o consumo desses dados, a API própria acessa a URL de acesso aos dados da cidade de Caseara (Tocantins), por se tratar da cidade mais próxima do PEC. Ao acessar, a API explora o código *HTML* da página, trazendo dados como: temperatura atual, sensação térmica, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento, direção do vento e índice de luz ultravioleta.

### 4.3 Contenção de riscos

Esta seção apresenta os resultados das etapas “Definição de Regras” e “Viabilidade Ambiental” da metodologia utilizada neste trabalho.

Para estas etapas foram feitas entrevistas com profissionais da área ambiental por e-mails e ligações telefônicas. Dentre os entrevistados estão: Daniel Rebelato, engenheiro ambiental; Padria Moromizato, engenheira ambiental; Nazaré Cosson, engenheira ambiental; Maurício Araújo, engenheiro ambiental e diretor de biodiversidade e áreas protegidas do Naturatins; João Pires, mestre em medicina veterinária e coordenador do curso de medicina veterinária do CEULP/ULBRA; e Cassiano Roman, mestre em biodiversidade animal e consultor ambiental.

A partir das informações sobre temperatura e umidade do PEC, os dados que podem ser obtidos pela API e as entrevistas foi possível elaborar regras que alertem sobre: temperatura anormal e risco de incêndio. Considerando que a temperatura durante o dia é alterada gradativamente, a regra para o primeiro alerta monitora as temperaturas registradas pelos módulos, caso a diferença entre a última medição e a penúltima medição possua uma discrepância muito grande, caracteriza-se então que houve algum fator externo que ocasionou esse aumento da temperatura, como por exemplo um incêndio. Assim, tem-se a seguinte regra para alerta de temperatura anormal:

```
Se diferencaTemperatura(temperaturaAtual, temperaturaAnterior) >
diferencaNormal
    alertaTemperaturaAnormal();
```

Quanto ao segundo alerta, risco de incêndio, tem por objetivo alertar as áreas mais propícias para inícios de incêndio. Considerando que com baixa umidade relativa no ar e com alta temperatura favorecem a propagação do fogo, a regra para esse alerta monitora a relação Temperatura *versus* Umidade. Caso a temperatura esteja alta e a umidade baixa, o alerta indica alto risco de incêndio; caso a temperatura ou a umidade estejam acima dos níveis definidos pelos profissionais da área ambiental, o alerta indica médio risco de incêndio; caso a temperatura esteja baixa e a umidade alta, o alerta indica baixo risco de incêndio. Os valores de temperatura e umidade que caracterizam cada nível de alerta podem ser estipulados por um profissional da área ambiental. Essa regra pode ser visualizada a seguir:

```
Se (temperaturaAtual >= temperaturaLimite e umidadeAtual <= umidadeLimite)
    alertaAltoRiscoIncendio()
senão se (temperaturaAtual >= temperaturaLimite ou umidadeAtual <=
umidadeLimite)
    alertaMedioRiscoIncendio()
senão se (temperaturaAtual < temperaturaLimite e umidadeAtual >
umidadeLimite)
    alertaBaixoRiscoIncendio()
```

Para a Viabilidade Ambiental, a partir das conversas com os profissionais da área ambiental foi possível concluir que o módulo não impactará de forma expressiva o ambiente. Eles concordam que a aplicação deste projeto trará mais benefícios ao PEC do que malefícios. Além disso, eles afirmaram que os impactos ambientais da utilização são baixos tendo como maior risco a emissão de luzes por parte do módulo, alertaram quanto ao descarte apropriado das pilhas que alimentam o módulo e a possível influência dos sinais de rede sem fio no sentido de orientação dos morcegos. Quanto ao problema da emissão de luzes, este já havia sido resolvido com a utilização da caixa acrílica na cor preta, fazendo com que a luz não seja emitida para fora da caixa e ao mesmo tempo camufle o módulo. Quanto ao descarte apropriado das pilhas, cabe a equipe executora do projeto estipular um processo adequado para esta ação. Quanto a orientação dos morcegos, o próprio profissional relatou não haver problema devido a periodicidade da transmissão dos sinais, que são transmitidos a cada 60 minutos. Caso a frequência da transmissão desses sinais fosse maior, haveria a necessidade de uma pesquisa específica para analisar essa situação.

#### 4.4 Processamento e apresentação

Esta seção apresenta os resultados das etapas de “Modelagem de Dados”, “Definição de Softwares” e “Tecnologias de Desenvolvimento” da metodologia utilizada neste trabalho.

Um dos resultados da etapa “Modelagem de Dados” foi o desenvolvimento de uma representação visual do fluxo de dados da solução, que é apresentada pela Figura 17.

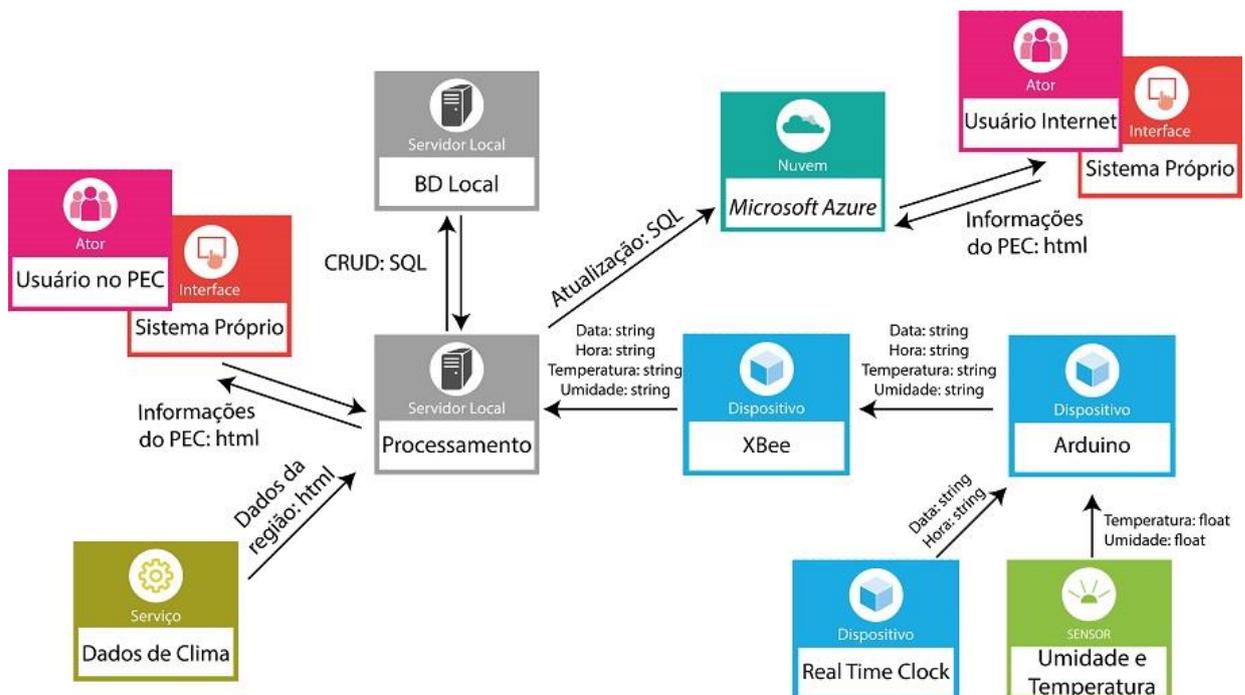


Figura 17 – Fluxo de dados da solução

Utilizando os *cards* apresentados anteriormente, foi montado um fluxo de dados da solução proposta neste trabalho para representar visualmente quais elementos enviam e recebem dados, quais dados e seus respectivos tipos. A Figura 17 auxiliou na identificação dos pontos de conversão de dados da solução, começando pelo controlador Arduino. Este ativo pode receber dados do tipo *string* e *float* a cada uma hora, porém, a transmissão desses dados pelo dispositivo XBee é por meio de *string*, havendo então a necessidade de conversão dos dados de temperatura e umidade para o tipo *string*; aproveitando o processamento para concatenar todos os dados em uma única *string*.

A concatenação dos dados pode ser executada para que haja menos tráfego na transferência dos dados entre os dispositivos XBee, caso contrário, o dispositivo terá que efetuar uma transferência para cada dado, ou seja, três transferências ao invés de apenas uma com todos os dados concatenados. Com isso, é eliminado o tráfego excedente na rede entre XBees, aumentando a vida útil do recurso elétrico e diminuindo o tempo de recebimento dos dados no servidor. A estrutura da *string* concatenada deve ter como delimitador entre os dados o caractere “,” e seguir o seguinte padrão: numero\_do\_controlador\_arduino, delimitador, expressão “TE” de *temperature* (termo em inglês para temperatura), valor medido pelo sensor de temperatura, delimitador, expressão “HY” de *humidity* (termo em inglês para umidade), valor medido pelo sensor de umidade, delimitador, expressão “T” de *time* (termo em inglês para tempo), valores obtidos pelo módulo RTC. A Figura 18 apresenta um exemplo de uma *string* concatenada para a transmissão por XBee.

10,TE350,HY700,T30590916112015

**Figura 18 - Exemplo de string para a transmissão por XBees**

No caso apresentado pela Figura 18, os dados são de origem do controlador Arduino número 10, com temperatura de 35.0 graus Celsius, umidade relativa do ar de 70.0% e foram obtidos no dia 16/11/2015, às 09:59:30. A explicação da última parte da *string*, a parte de data e hora, é apresentada pela Figura 19.

T 30 59 09 16 11 2015

└─┬─┘
└─┬─┘
└─┬─┘
└─┬─┘
└─┬─┘
└─┬─┘
└─┬─┘
└─┬─┘
└─┬─┘

Indicação   Segundos   Minutos   Hora   Dia   Mês   Ano  
 de Tempo

**Figura 19 – Estrutura da representação da data e hora**

A *string* contendo a data e hora da captação dos dados deve ser montada seguindo a estrutura apresentada pela Figura 19.

A *string*, após ser criada, é repassada ao XBee para que seja feita a transmissão até o Servidor Local de Processamento. Com o recebimento dessa *string* pelo servidor, é feita a separação desses dados, conversão para os tipos definidos no banco de dados e então armazenados. Após todos os dados terem sido recebidos, é iniciado o processamento de análise.

Como complemento para o processamento de análise, o Servidor Local de Processamento busca dados sobre a região na API definida. Os dados fornecidos pela API são inseridos diretamente no banco de dados local, pois no momento da extração dos dados a API já efetua a conversão necessária. Os dados devem ser armazenados no BD Local por meio de instruções SQL, assim como a recuperação, atualização e deleção (CRUD: *create*, *recover*, *update* e *delete*). Também utilizando instruções SQL, deve ser realizado o processo de atualização do BD da *Microsoft Azure*. A atividade de acesso aos dados e informações disponíveis são efetuadas de duas formas: acesso remoto ou acesso local (dentro do PEC). O acesso remoto utiliza requisições *web* para o servidor da *Microsoft Azure* para receber páginas *HTML* que exibam as informações/dados requisitados. O mesmo acontece com o acesso local, com a diferença que as requisições devem ser direcionadas ao Servidor Local de Processamento.

Além dos dados captados pelos sensores, devem ser armazenadas as informações geradas a partir da análise dos dados. Essas análises gerarão informações como: médias de temperatura e umidade da última semana do PEC e da região, médias de temperatura e umidade por grupos de módulos (definidos manualmente com base na proximidade), médias de temperatura e umidade do último mês do PEC e da região, alterações comparadas ao mesmo mês do ano anterior do PEC e da região. Essas informações serão fornecidas ao sistema de apresentação de informações disponível para acesso internamente e externamente ao PEC.

Quanto a etapa “Definição de *Softwares*”, decidiu-se que os *softwares* de Processamento, *Middleware*, API e Aplicação devem ser desenvolvidos pois não foram encontrados até o momento da escrita deste trabalho os respectivos *softwares* que sejam voltados para IoT e que trabalhem *off-line*. A necessidade dos *softwares* trabalharem *off-line* deve-se à falta de estabilidade da conexão à internet do PEC. Os *softwares* devem possuir alguns requisitos:

- processamento: gerenciamento da representação virtual, análise de dados e gerenciamento de regras;
- API: buscar dados complementares utilizando a internet;

- *middleware*: conversão dos tipos de dados, organização dos dados;
- aplicação: visualização de nós em mapa, médias da última semana, médias por grupos de módulos, médias do último mês, alterações comparadas ao mesmo mês do ano anterior, pontos críticos (definidos em regras), filtros de pesquisa.

O gerenciamento da representação virtual deve permitir que sejam atribuídas informações sobre cada módulo disposto no PEC. Informações como número do módulo, posicionamento geográfico, ponto de referência, sensores acoplados e observações. A análise de dados deve ser a função de criar informações relevantes com base nos dados obtidos do PEC e da região, utilizando técnicas de computação e estatística. Gerenciamento de regras tem que criar gatilhos para a execução de tarefas automatizadas, critérios para que sejam tomadas decisões automaticamente pelo sistema e que auxiliam na diminuição do tempo de resposta às situações.

Quanto a API, o recurso trouxe a possibilidade de aumentar a qualidade das informações geradas por meio da utilização de dados complementares. Com o acesso a dados disponíveis em *websites* de clima de cidades, a API deve possibilitar a extração dos dados por meio de exploração do código *HTML* da cidade de Caseara (cidade na fronteira do PEC), permitindo a análise de dados da região.

Na conversão dos tipos de dados, parte do *middleware* deve permitir a interoperabilidade de sistemas possibilitando que os dados atendam aos requisitos de tipos de dados que são utilizados em cada sistema. A função do *middleware* de organização dos dados tem como objetivo evitar que os dados possam se misturar durante a conversão de tipos, causando riscos a veracidade dos dados armazenados.

Quanto a aplicação, o *software* deve apresentar as informações obtidas por meio da análise dos dados, permitindo que os usuários se beneficiem das técnicas computacionais e estatísticas aplicadas ao PEC.

Para o gerenciamento de banco de dados pode ser utilizado o *SQL Server 2014* para acessos em rede local, devido a sua capacidade de gerenciamento de grandes bases de dados e referência comercial. Assim como o *Microsoft Azure* pode ser utilizado para acessos externos ao sistema de apresentação de informações.

Os resultados da etapa “Tecnologias de Desenvolvimento” englobam tecnologias a serem utilizadas neste projeto desde o desenvolvimento do *software* para os módulos com capacidades perceptivas do ambiente, aplicação, *middleware*, apresentação de conteúdo, API e *software* a ser utilizado para gerenciamento de banco de dados.

Para o desenvolvimento do *software* embarcado nos controladores Arduino, pode ser utilizada a linguagem de programação oficial apresentada pela fabricante dos dispositivos, assim como a utilização da IDE oficial também disponibilizada pela fabricante do Arduino. A utilização da IDE oficial é recomendada devida a ampla documentação disponível na *web* e ampla aceitação da comunidade desenvolvedora.

Para o desenvolvimento do *software* de *middleware* pode ser utilizada a linguagem de programação Python na versão 2.7 para executar o tratamento dos dados oriundos dos módulos externos de captação de dados. Esta linguagem é recomendada em razão de suas características como: ser *open-source*, ser multiplataforma, possuir melhor legibilidade para manutenção devida a obrigatoriedade de indentação do código, e possibilidade de extensão de suas funcionalidades utilizando bibliotecas. (PYTHON, 2014)

Devido aos mesmos motivos, a linguagem de programação Python também pode ser utilizada no desenvolvimento dos *softwares* de processamento e aplicação. Para o *software* de processamento pode ser utilizada a ferramenta Anaconda que fornece funções complementares ao Python. A ferramenta Anaconda fornece funções ao Python para trabalhar com diversas áreas de processamento de dados, desde visualização de dados com grafos, visualização de *big data*, mapas e 3D além de ferramentas analíticas para simulação e otimização, linguagem natural de palavras, estatística entre outros (ANALYTICS, 2015). Quanto ao *software* de aplicação, pode ser utilizado o *framework web* Django versão 1.8.6 e; as tecnologias *HTML5* para estruturação das páginas *web*, *CSS3* para a estilização das páginas *web* e *Angular.JS* para a manipulação de conteúdo e interatividade das páginas.

Em relação ao banco de dados, pode ser utilizado o *SQL Server 2014* para o armazenamento dos dados, armazenamento das análises e para acesso aos dados quando em rede local. Recomenda-se a utilização deste *software* pois “permite cargas de trabalho de alto desempenho, maior segurança, *data warehouse*, *BI* e análises para transações até 30 vezes mais rápidas e 100 vezes ganho de desempenho de consulta” (MICROSOFT, 2015). Quanto a versão do *SQL Server 2014*, não foi possível identificar qual a melhor versão dado que a versão *Express* é gratuita mas limita o tamanho do banco de dados em 10GB. Não há como mensurar o espaço a ser ocupado pelos dados por não ter sido definido a quantidade de módulos a ser aplicado. Com isso cabe a equipe de implantação do projeto analisar qual a melhor versão do *SQL Server 2014* é mais apropriada a ser utilizada. Além disso, pode ser utilizado o *Microsoft Azure* para o armazenamento de dados remotamente e acesso a aplicação de acesso às informações do PEC quando fora da rede local. O *SQL Server 2014* possui maior

integração com o *Microsoft Azure*, permitindo o controle de máquinas virtuais e execução de funções diretamente pelo *SQL Server* (MICROSOFT, 2015).

#### 4.5 Modelo

Esta seção apresenta um modelo de IoT para o PEC baseado nos resultados das etapas anteriores. O modelo é uma estrutura multinível que apresenta as questões a serem investigadas para a aplicação de um projeto de IoT no PEC. A Figura 20 apresenta a estrutura multinível do modelo elaborado por esse trabalho.



**Figura 20 – Representação do Modelo de IoT para o PEC**

No nível “Dispositivos Físicos” são considerados os sensores, controladores e dispositivos auxiliares utilizados. Os dispositivos auxiliares são os equipamentos que não são sensores, mas são utilizados nos módulos, como: comunicação sem fio, relógio, *displays*, adaptadores, *leds*, entre outros. Para este nível as características ambientais do PEC são levadas em consideração para a escolha dos equipamentos a serem utilizados, pois se trata de um ambiente não controlado.

No nível “Conectividade” informações sobre quais dados serão trafegados, tamanho desses dados e características ambientais são consideradas para a definição do tipo de conexão entre os elementos do projeto, pois cada tipo de conexão possui uma capacidade de transferência de dados. Exemplo inviável: transferência de vídeo a 10kbps. É importante destacar que esse nível se trata de todos os elementos do projeto e não somente dos módulos perceptivos, ou seja, conexão entre módulos perceptivos, conexão entre elementos na sede e conexão entre a sede e a internet.

No nível “Viabilidade Ambiental” questões relacionadas ao impacto ambiental dos dispositivos e da conexão sem fio entre os módulos perceptivos são consideradas para decidir a relação Custo *versus* Benefício que, conseqüentemente, define a viabilidade do projeto. O impacto ambiental é mensurado por especialistas da área ambiental, pois são os profissionais com conhecimento necessário para identificar problemas a serem causados com a aplicação do projeto. Exemplo: Conexões sem fio utilizadas no projeto poderão, por exemplo, influenciar na orientação de morcegos.

No nível “Adaptação de Dados” são definidos quais tipos de tratamentos de dados e quais conversões são necessárias. Essas definições são importantes para que diminua a complexidade do *software* de análise dos dados e utilize os padrões definidos no banco de dados. Utilizando como exemplo a transmissão de dados apresentada na seção “processamento e apresentação” deste trabalho em que os dados de temperatura, umidade e horário são transmitidos em uma única *string*, deve ser feita a transformação da *string* nos respectivos dados de umidade, temperatura e horário. Além disso, é necessário fazer a conversão desses dados para os tipos definidos em banco de dados para que possam ser utilizados pelos outros *softwares* do projeto.

No nível “Armazenamento” são feitos os planejamentos para a inserção e manutenção dos dados. Planejamento quanto a performance, capacidade de armazenagem e capacidade de gerenciamento de grande quantidade de dados são fatores que podem ser cruciais para projetos de IoT. A persistência dos dados é um fator a ser considerado de forma mais preocupante pois todos os dados coletados dependerão do planejamento deste nível, de forma que caso tais planejamentos não sejam bem executados, existe a possibilidade de perder parte ou completamente os dados do PEC.

No nível “Automação” são elaboradas regras que automatizem parte ou totalmente ações do PEC. As regras são estabelecidas a partir dos dados obtidos pelos sensores, de forma alternativa ou por resultados de análises (internas ou externas). Essas regras podem executar ações físicas ou digitais, como por exemplo: física, alertando os bombeiros em caso de incêndio ou digital, alertando áreas de grande risco de incêndio.

No nível “Análise de Dados” são utilizados os dados captados pelos módulos perceptivos assim como os dados obtidos por fonte externa. Todos os dados são utilizados para o processamento objetivando a geração de informação relevante. O processamento consiste na utilização de técnicas estatísticas e matemáticas, como sumarização e predição de dados. As técnicas são utilizadas tendo em vista o problema em que o projeto se propõe a solucionar ou fornecer subsídios para que possa chegar à solução.

No nível “Aplicação” são utilizados *softwares* de alto nível de comando e controle e de apresentação das informações. O *software* de comando e controle é utilizado para o gerenciamento das informações pertinentes aos módulos perceptivos. Neste *software* pode-se preencher informações de sua localização geográfica, tipos de sensores acoplados, últimos dados captados entre outras. O *software* de apresentação de informações é utilizado para exibir aos usuários os dados captados pelos módulos perceptivos e as informações de alto nível produzidas por meio da análise dos dados.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das reuniões efetuadas no desenvolvimento deste trabalho foi identificado que além de temperatura e umidade, outras características podem ser importantes para o monitoramento de uma unidade de conservação, como por exemplo: umidade do solo, um dos fatores para a sobrevivência da flora e; temperatura e pH da água para a reprodução dos peixes. Isso quer dizer que a aplicação de um modelo de IoT para o PEC com ênfase em umidade e temperatura do ar (como apresentado neste trabalho) não resolverá o problema de mensuração do estado de conservação, pois outros dados devem ser coletados, porém, em relação a alteração climática (no que diz respeito a temperatura e umidade) os dados servirão como subsídio para compor uma análise sobre o estado de conservação do Parque.

Para a definição de um modelo de IoT para o PEC, foi necessário considerar fatores como: compreensão do contexto, dispositivos eletrônicos, viabilidade ambiental e desenvolvimento de *softwares*; sendo necessária a execução de reuniões com profissionais da área ambiental, adaptação do *Canvas* para IoT, elaboração de diagramas (serviços, conectividade e dados) e definição de *softwares* a serem utilizados.

Quanto aos módulos perceptivos, em razão deste trabalho não ser de cunho experimental, não foi possível estimar a distância de comunicação entre eles, pois a distância fornecida pelo fabricante é referente à comunicação sem barreiras físicas, o que não acontecerá no PEC. Apenas uma experimentação em campo pode indicar a real distância máxima de comunicação. Durante o processo de desenvolvimento do trabalho foi compreendida a complexidade gerada pela diversidade das áreas envolvidas: eletrônica, redes de computadores, área ambiental, desenvolvimento de *software* e gerência de projetos, que são conectadas em um único projeto de IoT. Tal complexidade indicou a possibilidade de necessitar de especialistas das áreas citadas acima com o propósito de reduzir os riscos de mal funcionamento ou até mesmo de não funcionamento. No caso da área ambiental, foi necessário a consulta a especialistas do domínio devido a obrigatoriedade metodológica de possuir um *feedback* de profissionais da área sobre a viabilidade ambiental do projeto e não somente a viabilidade tecnológica.

Com os *feedbacks* foi possível identificar regras capazes de emitir alertas para os usuários, permitindo-os monitorar mais atentamente áreas de maior risco. Com as reuniões com os especialistas da área ambiental foi concluído que outros alertas e regras podem ser

definidas a partir do estudo dos dados captados, utilizando do histórico para predizer futuros eventos semelhantes.

Em virtude do PEC se tratar de um contexto sem fins lucrativos, o modelo apresentado neste trabalho necessita de recursos de órgãos de fomento à pesquisa e/ou de proteção ambiental para ser viabilizado. Esse modelo pode ser a base inicial para o desenvolvimento de propostas factíveis para institutos (tanto da iniciativa privada quanto da pública) que trabalham com questões relacionada a sustentabilidade e a proteção do meio ambiente.

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Durante a elaboração deste trabalho foram identificados alguns pontos que poderiam ser explorados para que houvesse um aperfeiçoamento nos resultados obtidos. Por este trabalho se tratar da definição de um modelo baseado na literatura da área e em entrevistas com especialistas do domínio, não teve como objetivo a experimentação dos módulos com percepção do ambiente. Com isso, é recomendado que haja um trabalho para teste do funcionamento dos dispositivos em conjunto e testes de comunicação entre os módulos para verificar questões como qualidade de transmissão e confiabilidade.

Além disso, testes *in loco* são recomendados devido ao ambiente diferenciado e para obtenção de métricas como: distância confiável entre módulos para a mensuração da qualidade de comunicação havendo árvores e obstáculos naturais; cálculo do tempo de transmissão de todos os dados até a sede; quantidade máxima de dispositivos conectados à rede DigiMesh; e efeitos de longos períodos no equipamento (sensores, controladores e baterias), devido a interferências da fauna, exposição solar, exposição a umidade, entre outros.

Sobre a fonte elétrica, recomenda-se a experimentação de métodos alternativos para redução do consumo elétrico dos módulos perceptivos permitindo uma maior vida útil das pilhas. Uma das alternativas é utilizar baterias de maior carga, permitindo que o módulo fique mais tempo ativo. Outra alternativa é ativar o modo *sleep* do Arduino fazendo-o praticamente desligar, reduzindo drasticamente seu consumo. De acordo com pesquisas e desconsiderando a perda natural da carga das pilhas devido em relação ao tempo, os módulos em modo *sleep* poderiam ter suas atividades estendidas de 11 horas para 8 meses, nas mesmas condições: mensurando e transmitindo os dados a cada uma hora no dia.

## REFERÊNCIAS

ABU-ELKHEIR, M.; HAYAJNEH, M.; ALI, N. A. Data management for the Internet of Things: Design primitives and solution. **Sensors (Switzerland)**, v. 13, p. 15582–15612, 2013.

AGGARWAL, C. C.; ASHISH, N.; SHETH, A. The Internet of Things: A Survey from Data-Centric. **Managing and Mining Sensor Data**. p.383–428, 2013. Springer. Disponível em: <<http://www.charuaggarwal.net/iot.pdf>>. .

ANALYTICS, Continuum. **Why Anaconda?** 2015. Disponível em: <<https://www.continuum.io/why-anaconda>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

ASHTON, K. That “Internet of Things” Thing - RFID Journal. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>>. Acesso em: 4/3/2015.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, p. 2787–2805, 2010.

BOJKOVIC, Z.; BAKMAZ, B.; BAKMAZ, M. Machine-to-Machine Communication Architecture as an Enabling Paradigm of Embedded Internet Evolution University of Belgrade. , p. 40–45, 2009.

BRASIL. LEI No 9.985. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm)>. Acesso em: 8/4/2015.

BURATTI, C.; CONTI, A.; DARDARI, D.; VERDONE, R. An overview on wireless sensor networks technology and evolution. **Sensors**, v. 9, p. 6869–6896, 2009.

CIRILO, C. E. Computação Ubíqua : definição , princípios e tecnologias. , p. 10, 2009. Disponível em: <[http://www.academia.edu/1733697/Computação\\_Ubíqua\\_definição\\_princípios\\_e\\_tecnologias](http://www.academia.edu/1733697/Computação_Ubíqua_definição_princípios_e_tecnologias)>. .

CLARO PARTNERS. A Guide to the Internet of Things. , 2014. Disponível em: <[http://www.claropartners.com/IoTGuide/Guide-to-succeeding-in-the-IoT\\_ClaroPartners.pdf](http://www.claropartners.com/IoTGuide/Guide-to-succeeding-in-the-IoT_ClaroPartners.pdf)>. .

CONSAM. **Plano de Uso Público do Parque Estadual do Cantão**. 2004.

DIGI INTERNATIONAL. Wireless Mesh Networking ZigBee® vs. DigiMesh™. Minnetonka, 2008. 5 p. Disponível em: <[http://www.digi.com/pdf/wp\\_zigbeevsdigimesh.pdf](http://www.digi.com/pdf/wp_zigbeevsdigimesh.pdf)>. Acesso em: 29 out. 2015.

ETSI. Use Cases of M2M applications for Connected Consumer. , v. 1, p. 1–19, 2013.

EVANS, D. The Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything. **CISCO white paper**, n. April, p. 1–11, 2011. Disponível em: <[http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf)>. .

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. Internet of Things ( IoT ): A Vision , Architectural Elements , and Future Directions. , p. 1–28, 2013.

HOLLER, J.; TSIATSIS, V.; MULLIGAN, C.; et al. **From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence**. 2014.

HUI, J.; CULLER, D.; CHAKRABARTI, S. **6LoWPAN Network Architecture**. 2009.

IEEE. **IEEE 802.15.4 specification**. New York: IEEE, 2011.

IPV6.BR. Endereçamento | IPv6.br. Disponível em: <<http://ipv6.br/entenda/enderecamento/>>. Acesso em: 22/4/2015b.

IPV6.BR. Introdução | IPv6.br. Disponível em: <<http://ipv6.br/entenda/introducao/>>. Acesso em: 14/5/2015a.

JOSÉ, M; LEONAM, J; KRAMER, E. **Entrevista com representantes do Naturatins sobre o PEC**. Palmas: Gravação pessoal, 2015. 1 faixa aac

JUELS, A. RFID security and privacy: A research survey. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, v. 24, n. 2, p. 381–394, 2006.

KARIMI, D. A. K. What the Internet of Things (IoT) Needs to Become a Reality. **Freescale White Paper**, p. 16, 2013. Disponível em: <[http://www.freescale.com/files/32bit/doc/white\\_paper/INTOTHINGSWP.pdf](http://www.freescale.com/files/32bit/doc/white_paper/INTOTHINGSWP.pdf)>. .

KORTUEM, G.; KAWSAR, F.; FITTON, D.; SUNDRAMOORTHY, V. Smart Objects as Building Blocks for the Internet of Things. **IEEE Computer Society**, v. 10, p. 1089–7801, 2010. Disponível em: <<http://www.fahim-kawsar.net/papers/Kortuem.IEEEInternet2010.Camera.pdf>>. .

LABS, S. The Evolution of Wireless Sensor Networks. , p. 1–5, 2013. Disponível em: <<http://www.silabs.com/pages/Silabs-Search.aspx?q=wsn>>. .

LEÃO, M.; LEITE VITAL, S. No Title. , 2015. Palmas.

LEÃO, M; VITAL, S; **Entrevista com biólogo e ex-gerente do PEC e gestora ambiental**. Palmas: Gravação pessoal, 2015. 1 faixa aac

LEEDOM, D. K. NEXT GENERATION COMMON OPERATING PICTURE. Disponível em: <[http://www.dodccrp.org/events/8th\\_ICCRTS/Pres/track\\_4/3\\_1330leedom.pdf](http://www.dodccrp.org/events/8th_ICCRTS/Pres/track_4/3_1330leedom.pdf)>. Acesso em: 15/5/2015.

LIMA-RIBEIRO, M. D. S. Efeitos de borda sobre a vegetação e estruturação populacional em fragmentos de Cerradão no Sudoeste Goiano, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 2, p. 535–545, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abb/v22n2/a20v22n2.pdf>>. .

LU, R.; LI, X.; LIANG, X.; SHEN, X.; LIN, X. GRS: The green, reliability, and security of emerging machine to machine communications. **IEEE Communications Magazine**, v. 49, n. April, p. 28–35, 2011.

MICROSOFT. **SQL Server 2014 Comparison**. 2015. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/pt-br/server-cloud/products/sql-server/Comparison.aspx>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

MICROSOFT. **SQL Server 2014 Overview**. 2015. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/pt-br/server-cloud/products/sql-server/Overview.aspx>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

NATURATINS. Medida compensatória garante reforma do Parque do Cantão - Naturatins. Disponível em: <<http://naturatins.to.gov.br/noticia/2015/3/12/medida-compensatoria-garante-reforma-do-parque-do-cantao/>>. Acesso em: 8/4/2015.

PRESSER, M.; GLUHAK, A. The Internet of Things: Connecting the real world with the digital world. **Eurescom Message**, p. 8, set. 2009. Heidelberg. Disponível em: <[http://archive.eurescom.eu/~pub/about-eurescom/message\\_2009\\_02/Eurescom\\_message\\_02\\_2009.pdf](http://archive.eurescom.eu/~pub/about-eurescom/message_2009_02/Eurescom_message_02_2009.pdf)>. .

PYTHON. **Overview**. 2014. Disponível em: <<https://wiki.python.org/moin/BeginnersGuide/Overview>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

RFID JOURNAL. Glossary of RFID Terms - RFID Journal. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/glossary/?R>>. Acesso em: 17/4/2015.

SEN, J. Ubiquitous Computing: Applications, Challenges and Future Trends. **Embedded Systems and Wireless Technology: Theory and Practical Application**. p.40, 2012. Disponível em: <[https://www.academia.edu/2579314/Ubiquitous\\_Computing\\_Applications\\_Challenges\\_and\\_Future\\_Trends](https://www.academia.edu/2579314/Ubiquitous_Computing_Applications_Challenges_and_Future_Trends)>. .

SINGH, D.; TRIPATHI, G.; JARA, A. J. A survey of Internet-of-Things: Future vision, architecture, challenges and services. **2014 IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2014**, p. 287–292, 2014.

TOCANTINS. LEI No 996. Disponível em: <[http://www.gesto.to.gov.br/site\\_media/upload/gestao/arquivosDocLegal/Lei\\_no\\_996,\\_de\\_14\\_de\\_julho\\_de\\_1998\\_Cria\\_do\\_Parque\\_Estadual\\_do\\_Cantao\\_PEC\\_p1.pdf](http://www.gesto.to.gov.br/site_media/upload/gestao/arquivosDocLegal/Lei_no_996,_de_14_de_julho_de_1998_Cria_do_Parque_Estadual_do_Cantao_PEC_p1.pdf)>. Acesso em: 8/4/2015.

UCKELMANN, D.; HARRISON, M.; MICHAHELLES, F. **Architecting the Internet of Things**. Springer, 2011.

VERMESAN, O.; FRIESS, P.; GUILLEMIN, P.; et al. Internet of Things Strategic Research and Innovation Agenda. **Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems**. p.7–151, 2013. Rivers.

WANT, R. An introduction to RFID technology. **IEEE Pervasive Computing**, v. 5, n. 1, p. 25–33, 2006.

WEISER, M. The Computer for the 21st Century. Disponível em: <<https://www.ics.uci.edu/~corps/phaseii/Weiser-Computer21stCentury-SciAm.pdf>>. Acesso em: 13/4/2015.

WWF BRASIL. **Mudanças climáticas: Conseqüências desastrosas**. [s. L], [2006]. 2 p. Disponível em: <<http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/2vs3graus.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2015.