



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ERANILDO LUSTOSA ALVES JUNIOR

**AUTOMATIZAÇÃO DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPOS DE CICLOS DE
EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS**

FORTALEZA

2018

ERANILDO LUSTOSA ALVES JUNIOR

AUTOMATIZAÇÃO DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPOS DE CICLOS DE
EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A478a Alves Júnior, Eranildo Lustosa.
 Automatização de aquisição de dados de tempos de ciclos de equipamentos de terraplenagem utilizando Internet das Coisas / Eranildo Lustosa Alves Júnior. – 2018.
 57 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.
 Orientação: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior.
1. Aquisição automática de dados. 2. Terraplenagem . 3. Internet das Coisas. 4. Tempo de ciclo. 5. Caminhão basculante. I. Título.

CDD 620

ERANILDO LUSTOSA ALVES JUNIOR

AUTOMATIZAÇÃO DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPOS DE CICLOS DE
EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 04 de Junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Ma. Aline Calheiros Espíndola
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

À minha família, por sua capacidade de acreditar
em mim e investir em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus por todas as oportunidades que me foram dadas, por me ajudar nos momentos difíceis e me guiar durante toda a minha vida.

Aos meus pais, Susy e Eranildo, e minha irmã Priscylla, por sempre me ajudarem a vencer todos os obstáculos da vida.

À minha tia querida Zélia, por sempre me incentivar a estudar e por ser um exemplo para mim.

À minha vovó Leonísia (*in memorian*), pela incessante ajuda, principalmente no início dessa jornada.

Aos meu familiares, por me ajudarem a concretizar o sonho de me formar em Engenharia Civil.

Ao Professor Ernesto Nobre, por ter acreditado no meu potencial, pela amizade construída ao longo desses anos e pelas contribuições na minha formação como pessoa, engenheiro e pesquisador.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho e Prof.^a Aline Calheiros Espíndola, pela disponibilidade e pelas valiosas colaborações para este trabalho.

Aos meus amigos de faculdade, pelo companheirismo diário nas disciplinas.

Ao meu amigo Yago, por se dispor a me ajudar nas dificuldades enfrentadas ao longo desses anos de faculdade.

Ao Grupo de Pesquisa LRI, por fazer parte da minha formação como pesquisador e me ajudar na formação acadêmica.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”

(Martin Luther King Jr.)

RESUMO

A obtenção de dados de campo em obras de construção pesada ainda é uma difícil tarefa, pois exige uma grande quantidade de pessoas, equipamentos e processos envolvidos. Em obras de terraplenagem, a obtenção de dados de tempo de ciclo de equipamentos é feita, em muitos casos, manualmente. Este trabalho apresenta uma sistematização de coleta automática de dados de tempos de ciclo de pá-carregadeira e caminhão basculante, utilizando o conceito de Internet das Coisas. Para isso, construiu-se protótipos, com microcontroladores e sensores, embarcados em tais equipamentos de terraplenagem e conectados, através de uma comunicação sem-fio *Wi-Fi*, a um banco de dados na Internet. Os protótipos conseguiram enviar automaticamente dados suficientes para a determinação de tempos de ciclo da pá-carregadeira e do caminhão basculante. Embora a planilha do Google, ferramenta *online* utilizada como banco de dados, mostrou ser um recurso versátil na visualização dos dados coletados, sugere-se a utilização de um banco de dados em nuvem capaz de informar automaticamente os tempos de ciclo dos equipamentos. Espera-se que as técnicas e os procedimentos desenvolvidos e aplicados neste trabalho sirvam de base para a sua utilização em escala real em equipamentos e processos para auxiliar tomadores de decisão no gerenciamento de obras.

Palavras-chave: Aquisição automática de dados. Terraplenagem. Tempo de ciclo. Pá-carregadeira. Caminhão basculante. Internet das Coisas.

ABSTRACT

Data acquisition in heavy construction sites is an arduous task because it requires a large number of laborers, equipments and processes. In earthmoving construction sites, cycle time data acquisition of equipments still is done manually in many occasions. This study presents a systematization of automatic data acquisition of loader and dump truck cycle time, using Internet of Things concept. For that, prototypes equipped with microcontrollers and sensors were built and boarded in those earthmoving equipments. The prototypes are connected to an Internet database through a Wi-Fi wireless communication. The prototypes succeeded at sending automatically enough data to determine loader and dump truck cycle times. Google sheets was used as a database, and showed itself as a versatile tool to visualize the collected data. However, it is suggested the utilization of a cloud database capable to show automatically the cycle times of the equipments. It is expected that techniques and procedures developed and applied in this study serve as basis for its utilization in real scale equipments and processes to assist decision makers in the management of constructions.

Keywords: Automatic data acquisition. Earthmoving. Cycle Time. Loader. Dump Truck. Internet of Things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de uma pá-carregadeira de rodas	17
Figura 2 – Movimentação do braço de levantamento e caçamba da Pá-carregadeira . . .	18
Figura 3 – Caminhão Basculante Agrale 13000	19
Figura 4 – Modelo conceitual com pá-carregadeira e caminhão basculante na terraplenagem	20
Figura 5 – Movimentos realizados pela pá-carregadeira no seu ciclo	21
Figura 6 – Estrutura organizacional da IoT	24
Figura 7 – Exemplos de aplicações de IoT	25
Figura 8 – Exemplo de um sistema de RFID em caminhão betoneira	26
Figura 9 – Sistema RFID móvel	29
Figura 10 – Configuração de um sensor indutivo de aproximação	30
Figura 11 – Placa de desenvolvimento ESP8266 NodeMCU	31
Figura 12 – Esquema proposto para a coleta de dados	34
Figura 13 – Esquema de movimentação da unidade escavocarregadeira na zona de carregamento	35
Figura 14 – Localização do sensor indutivo no caminhão basculante	35
Figura 15 – Protótipo de pá-carregadeira equipado com RFID	37
Figura 16 – Movimentos realizados pela pá-carregadeira equipada com o RFID	37
Figura 17 – Esquema de obtenção e transferência de dados de tempos de ciclo	38
Figura 18 – Metodologia para tempos das atividades do caminhão próximas à região de carga	39
Figura 19 – Metodologia para tempos das atividades do caminhão próximas à região de descarga	39
Figura 20 – Planilha de resultados do sensor RFID instalado na pá-carregadeira	40
Figura 21 – Planilha de resultados do protótipo instalado no caminhão basculante	41
Figura 22 – Resultados do tempo de ciclo do caminhão basculante	42
Figura 23 – Gráfico dos tempos de ciclo do caminhão basculante	42
Figura 24 – Gráfico dos tempos de atividades por ciclo do caminhão basculante	43
Figura 25 – Resultados do tempo de ciclo da pá-carregadeira	43
Figura 26 – Gráfico dos tempos de ciclo da pá-carregadeira	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de <i>tags</i> RFID	27
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM	<i>Building Information Modeling</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
M2S	<i>Machine-to-Server</i>
RFID	<i>Radio-frequency Identification</i>
S2S	<i>Server-to-Server</i>
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UWB	<i>Ultra-wideband</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	14
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	14
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	15
1.3	Estrutura da Monografia	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Equipamentos de Terraplenagem	16
2.1.1	<i>Descrição dos Equipamentos</i>	16
2.1.1.1	<i>Descrição da Unidade Escavocarregadora</i>	16
2.1.1.2	<i>Descrição da Unidade de Transporte</i>	19
2.2	Tempos de Ciclo de Equipamentos de Terraplenagem	20
2.2.1	<i>Tempos de Ciclo da Unidade Escavocarregadora</i>	21
2.2.2	<i>Tempos de Ciclo da Unidade de Transporte</i>	22
2.3	Tecnologias aplicadas à aquisição de dados	23
2.3.1	<i>Internet das Coisas</i>	24
2.3.2	<i>Identificação por Radiofrequência</i>	26
2.3.3	<i>Sensor Indutivo</i>	30
2.3.4	<i>IoT Hardware</i>	31
2.3.5	<i>Protocolo de Comunicação Sem Fio Wi-Fi</i>	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4	RESULTADOS	40
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	44
5.1	Limitações do trabalho	45
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	45
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICES	50
	APÊNDICE A – Código-fonte utilizado para o microcontrolador embar-	
	cado na Pá-Carregadeira	50

APÊNDICE B – Código-fonte utilizado para o microcontrolador embar-	
cado no Caminhão Basculante	54

1 INTRODUÇÃO

A coleta precisa, completa e confiável de dados de obra em campo é essencial para uma gerência de projeto de construção que envolva atividades que utilizem recursos e equipamentos (TANEJA *et al.*, 2011). Por isso, essa coleta é imprescindível para dar suporte as decisões do engenheiro para o controle e gerenciamento das atividades e recursos durante a obra.

De acordo com Omar e Nehdi (2016), a coleta de dados realizada de maneira manual para o acompanhamento das atividades e dos recursos em uma obra carece da exatidão necessária para integração com outras interfaces na construção, as quais envolvem clientes, terceirizados, agências regulamentadoras, dentre outras. Por outro lado, o monitoramento das atividades de construção em tempo real e de forma automatizada pode revelar potenciais atrasos nas atividades e diferenças no que foi proposto em projeto e auxiliar os tomadores de decisão no controle do projeto de execução em uma obra. Além disso, a localização e o monitoramento dos equipamentos em tempo real é útil para examinar as ações dos mesmos e estimar suas produtividades (AZAR; KAMAT, 2017).

Em obras de terraplenagem, devido à grande quantidade de solos transportado por grandes distâncias, o custo de movimentação de material pode ser um dos itens de maior impacto no orçamento (LIMA *et al.*, 2012). Nesse ambiente de construção, a coleta de dados de campo é realizada ainda, em muitos casos, de forma manual.

Na última década, pesquisas usaram diversas tecnologias para extração de dados em obras de terraplenagem, incluindo tecnologias de informações, métodos geo-espaciais e imagens, como a aerofotogrametria. Em relação a tecnologia da informação, pode-se destacar o uso de ferramentas multimídias, baseadas em serviços de voz e e-mail. Já para os métodos geo-espaciais evidencia-se o uso do código de barras, *Radio-frequency Identification* (RFID), *Ultra-wideband* (UWB) e *Geographic Information System* (GIS). Apesar dos avanços tecnológicos na extração de dados, a falta de uma sistematização que permite a integração automatizada dessas tecnologias de informação no sistema global de redes de computadores ainda é uma dificuldade.

A "Internet das Coisas" ou *Internet of Things* (IoT) surge no começo do século XXI, mostrando que objetos físicos podem trocar informações através da Internet. A massificação dos sensores, microcontroladores e a variedade de protocolos de comunicação no sistema global de redes de computadores proporcionaram a utilização de IoT nos mais diversos ambientes e aplicações.

Na engenharia civil, a IoT já integra as chamadas *Smart Cities*, *Building Information*

Modeling (BIM), o gerenciamento de obras, os sistemas de segurança em obras e a utilização de pré-fabricados na construção, por exemplo. Segundo Russelberg (2015), a indústria da construção pesada está utilizando a IoT para coleta de dados de desempenhos dos equipamentos, rastreamento, análise preditiva, notificação de manutenção dos equipamentos, dentre outros aspectos.

Nesse trabalho criou-se, a partir de sensores, com conectividade *wireless* através do protocolo de comunicação *Wi-Fi* com a Internet, embarcados em pá-carregadeira e caminhão basculante, um sistema de coleta automática de dados de tempos de ciclos desses equipamentos.

1.1 Justificativa

A coleta de dados no ambiente de construção, em especial em obras de terraplenagem é feita ainda, em muitos casos, manualmente. A ausência de um sistema de coleta de dados de tempos de ciclos de equipamentos de forma automatizada pode interferir no acompanhamento da obra e na estimativa de produção dos mesmos. Sistemas utilizando GPS embarcados em equipamentos já foram utilizados para monitoramento de tempo de ciclo de unidades de transporte, no entanto devido a seu elevado custo se torna economicamente inviável a sua utilização em uma obra com elevado número de unidades de transportes. Sistemas utilizando RFID possuem baixo valor de manutenção e a identificação por etiquetas para as unidades de transportes possui um baixo valor de aquisição. Esse fator, juntamente com a proposição de sistemas *wireless* embarcados e de baixo custo viabiliza a coleta de informações mesmo em ambientes de difícil movimentação, como é o de terraplenagem.

1.2 Objetivos

Os objetivos desta monografia podem ser descritos nas formas apresentadas nos itens seguintes.

1.2.1 Objetivo Geral

Criar sistemas de aquisição automatizada de dados de tempos de ciclos da Pá-Carregadeira e do Caminhão Basculante em obras de terraplenagem, utilizando microprocessadores, sensores, RFID, *Wi-Fi* e IoT.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Sistematização, utilizando IoT, da coleta de dados de tempos de ciclo de caminhão basculante e pá-carregadeira;
- Criar protótipo para envio de dados de tempo de ciclo da pá-carregadeira, utilizando microcontrolador e tecnologias RFID e *Wi-Fi*;
- Criar protótipo para envio de dados de tempo de ciclo de caminhão basculante, utilizando microcontrolador, sensor e *Wi-Fi*;
- Criar um banco de dados em nuvem para a disponibilização dos dados de tempo de ciclo da pá-carregadeira e do caminhão basculante na Internet.

1.3 **Estrutura da Monografia**

A monografia está dividida em cinco capítulos, de acordo com os tópicos apresentados a seguir:

Capítulo 1 – Introdução. Apresentação do trabalho, justificativa de pesquisa e objetivos propostos pelo trabalho.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica. Explanação sobre tempos de ciclo e apresentação dos equipamentos de terraplenagem; descrição de RFID; apresentação dos sensores e microcontroladores adotados nas pesquisas, bem como a explicação de seus funcionamentos; descrição de *Wi-Fi*; introdução e contextualização histórica de *Internet of Things*.

Capítulo 3 – Materiais e Método. Discussão das tecnologias abordadas e dos estudos preliminares pertinentes à obtenção de dados de tempos de ciclo. Pormenorização do procedimento adotado para extração dos dados.

Capítulo 4 – Discussão dos resultados obtidos. Nessa etapa, far-se-á uma análise do sistema proposto e dos protótipos envolvidos na elaboração deste trabalho.

Capítulo 5 – Conclusão, limitações do trabalho e proposição de pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nessa primeira etapa do trabalho serão apresentadas as características dos equipamentos de terraplenagem dessa pesquisa bem como é determinado o tempo de ciclo das suas operações em uma obra de Terraplenagem. Além disso, será realizada uma explanação sobre a importância da IoT, dos sensores e dos microcontrolador utilizados para obtenção dos dados de tempos de ciclo. Como o funcionamento do sistema proposto, no trabalho, depende da comunicação *Wi-Fi*, serão também explicadas a topologia e as características desse tipo de comunicação sem fio.

2.1 Equipamentos de Terraplenagem

De acordo com Ricardo e Catalani (2007), os serviços de terraplenagem podem ser divididos em quatro operações principais, sendo elas escavação, carga de material, transporte de material e descarga com espalhamento. Tais operações, podem acontecer sequencialmente ou simultaneamente, dependendo dos equipamentos de terraplenagem envolvidos. Além disso, essas operações são cíclicas, denominando a sua totalidade como ciclo da operação.

Dentre os equipamentos de terraplenagem existem as unidades escavo-empurradoras, escavocarregadoras, escavotransportadoras, escavo-elevadoras, de transporte, aplainadoras e compactadoras. Neste trabalho, o foco de análise foi sobre as unidades escavocarregadoras (pá-carregadeira) e de transporte (caminhão basculante).

2.1.1 Descrição dos Equipamentos

Nesta seção será feita uma descrição dos equipamentos de terraplenagem objetos de estudo desse trabalho.

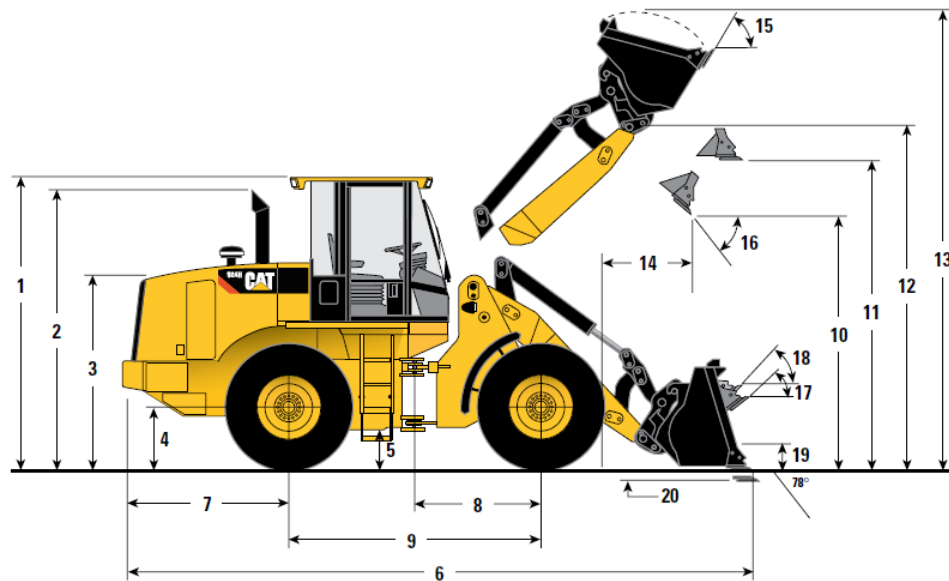
2.1.1.1 Descrição da Unidade Escavocarregadora

As unidades escavocarregadoras são representadas pela pá-carregadeira, também conhecida como carregadeira, e pela escavadeira. Elas escavam e carregam o material sobre outro equipamento, que tem a função de transportar até a zona de aterro, ou até a zona de bota-fora. As pás-carregadeiras podem ser montadas sobre esteiras ou rodas, como mostra a Figura 1. Alguns tipos de pás-carregadeiras, especialmente as de rodas, realizam o próprio transporte de material

para curtas distâncias (RICARDO; CATALANI, 2007).

As pás-carregadeiras possuem uma caçamba frontal do equipamento. Elas são compostas de um trator de pneus ou de esteira, no qual dois braços de levantamento de caçamba são anexados. Estes braços são operados por dois pistões conectados à uma bomba hidráulica, a qual é ativada através da força do motor do equipamento.

Figura 1 – Exemplo de uma pá-carregadeira de rodas



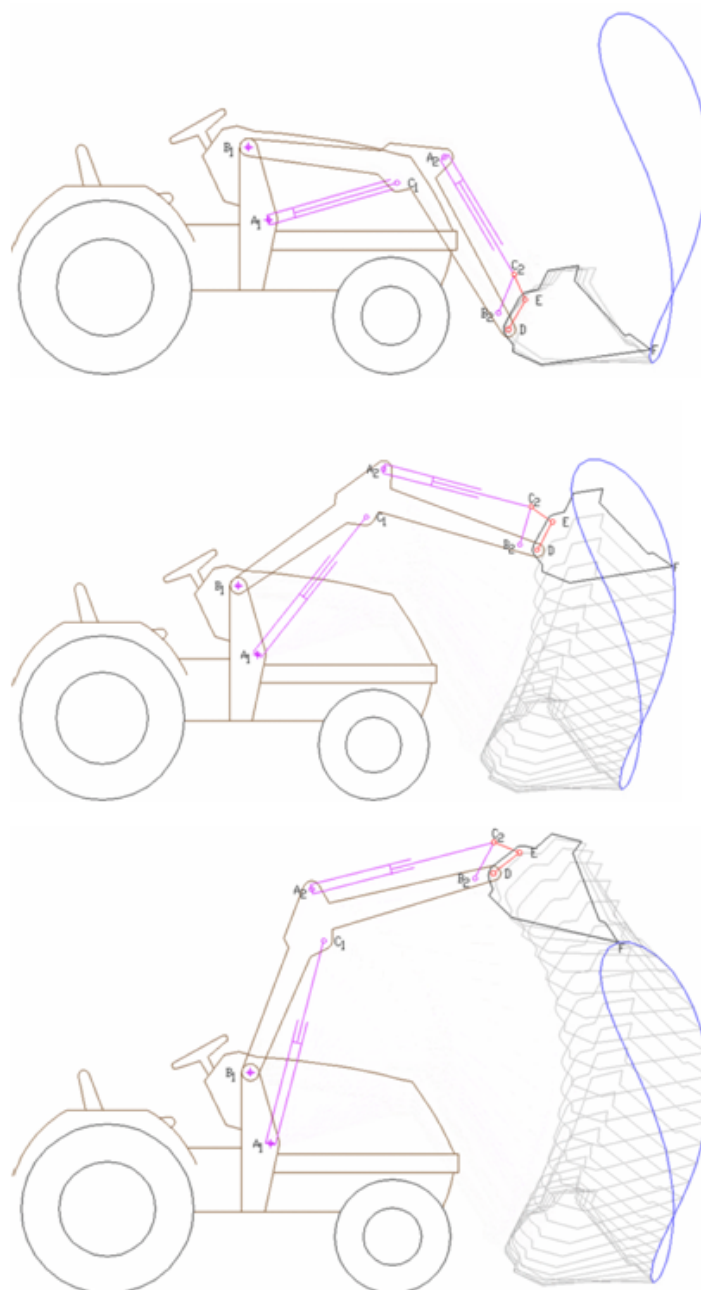
Fonte: Caterpillar (2008).

Geralmente, a pá-carregadeira realiza dois movimentos característicos: o movimento vertical com deslocamento do braço de levantamento e caçamba e o movimento horizontal com deslocamento do equipamento por completo. Ambos movimentos podem acontecer simultaneamente ou não, dependendo do momento no ciclo do equipamento.

A caçamba da pá-carregadeira é articulada e deve ser movimentada de acordo com a finalidade do movimento vertical no ciclo. De acordo com o tipo e a disposição do material a ser escavado, a caçamba sofrerá ajustes na sua posição para escavar, transportar e despejar o material como ilustra a Figura 2.

O movimento horizontal da pá-carregadeira é dependente da localização do material solto e da localização da área de despejo ou da unidade de transporte. Em um ciclo completo de carregamento, a pá-carregadeira deverá fazer o movimento de manobra em relação à zona de escavação e o movimento em direção à unidade de transporte. As caracterizações dos movimentos do ciclo da pá-carregadeira serão abordadas detalhadamente no tópico sobre tempos de ciclo.

Figura 2 – Movimentação do braço de levantamento e caçamba da Pá-carregadeira



Fonte: Wikipedia (2018).

Alguns fatores são preponderantes na escolha entre pá-carregadeira de esteiras ou de pneus. Para ambientes de construção com espaço de manobra reduzido é aconselhável a utilização de pás-carregadeiras de esteiras devido a sua capacidade de girar. Além disso, para terrenos de construção com pouca capacidade de suporte ou umidade excessiva, é aconselhável também pás-carregadeiras de esteiras. Já para ambientes de construção que exigem maiores distâncias de ciclo, o aconselhável é usar pás-carregadeiras de pneus devido a sua maior velocidade de deslocamento.

2.1.1.2 Descrição da Unidade de Transporte

As unidades de transporte de material em obras de terraplenagem são os caminhões basculante comuns, os vagões, os “*dumpers*” e os caminhões “fora-de-estrada”. O uso dessas unidades acontece quando são grandes as distâncias de transporte do material. Neste trabalho, a unidade de transporte em estudo será o caminhão basculante.

O caminhão basculante, também conhecido como caminhão caçamba, é composto por um chassi de caminhão convencional e uma balsa que pode ser elevada através de um pistão hidráulico e pode ter capacidade entre 4 a 14 m^3 , de acordo com o Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO). Um exemplo de caminhão basculante é mostrado na Figura 3. Em sua estrutura, a balsa conta com uma estrutura de proteção da cabine de operação do caminhão e é apoiada sob o chassi principal do caminhão, quando não está sendo levantada pelo pistão. Na traseira da balsa está presente uma tampa que tem acionamento mecânico através da gravidade, quando a mesma é levantada pelo pistão, e é onde acontece a saída do material transportado pelo equipamento. Em alguns tipos de caçamba, a tampa traseira pode ter acionamento hidráulico para abrir e fechar, evitando assim o choque entre o material transportado e a própria tampa no momento de descarga.

Figura 3 – Caminhão Basculante Agrale 13000



Fonte: TERRAPLENAGEM.NET (2010).

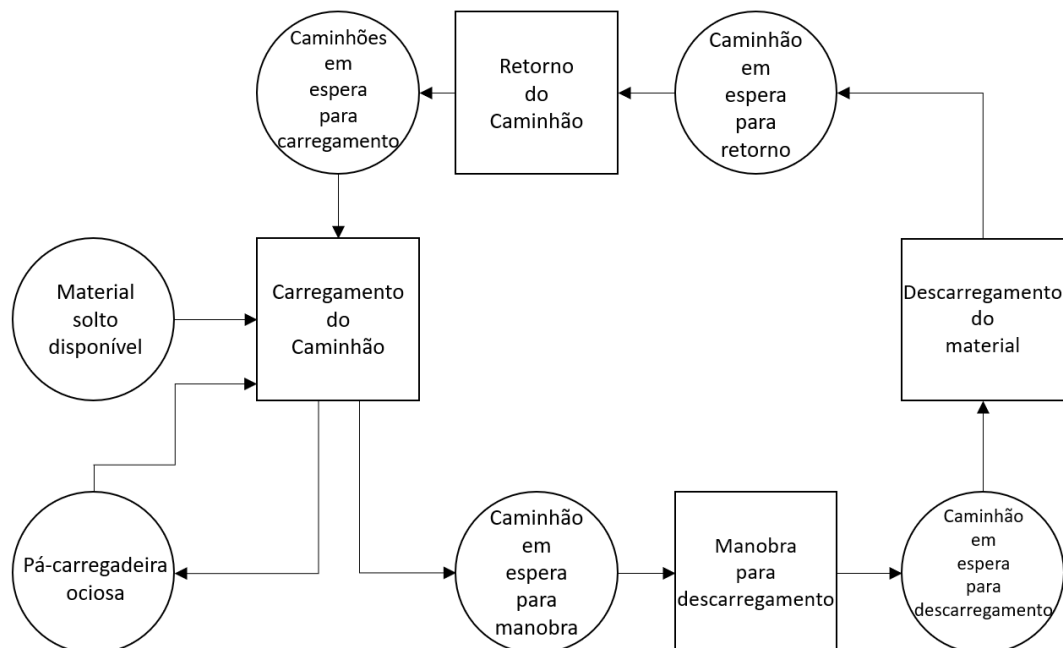
2.2 Tempos de Ciclo de Equipamentos de Terraplenagem

Como já visto anteriormente, os equipamentos de terraplenagem executam quatro operações básicas: escavação, carga de material, transporte de material e descarga com ou sem espalhamento. A unidade escavocarregadora pode realizar as 4 operações básicas sozinhas, enquanto que a unidade de transporte apenas realiza as duas últimas operações supracitadas.

O ciclo de um equipamento pode ser definido como o conjunto de operações que um equipamento realiza com começo e fim, retornando ao final do ciclo para reinício do mesmo conjunto de operações. Nesse sentido, o tempo de ciclo é o intervalo de tempo entre o momento em que o equipamento inicia seu ciclo de operações e o momento que ele retorna para o início do mesmo ciclo, após ter realizado o conjunto de operações. Neste trabalho, o foco será o tempo de ciclo das unidades escavocarregadora e a de transporte.

Um modelo conceitual do ciclo de atividades envolvendo tais equipamentos e adaptado de McCahill e Bernold (1993) é mostrado na Figura 4. Nesse modelo, as atividades são representadas por quadrados; já as filas ou os elementos, o solo e os equipamentos em estado de espera nas operações, são representados por círculos.

Figura 4 – Modelo conceitual com pá-carregadeira e caminhão basculante na terraplenagem



Fonte: adaptado de McCahill e Bernold (1993).

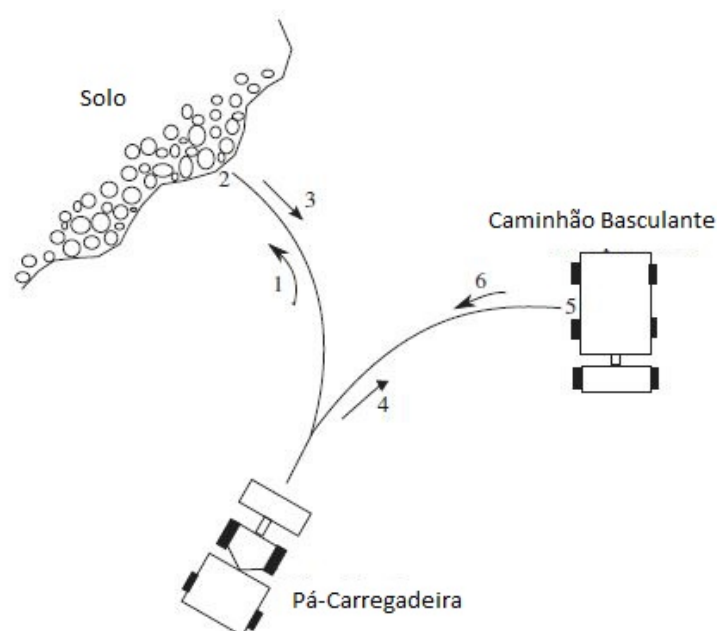
2.2.1 Tempos de Ciclo da Unidade Escavocarregadora

A unidade escavocarregadora tem seu ciclo separado nas seguintes operações:

- Ida até o talude de escavação ou corte;
- Preenchimento da caçamba da unidade escavocarregadora;
- Manobra em direção à unidade de transporte;
- Ida em direção à unidade de transporte;
- Descarregamento do material na unidade de transporte;
- Ré da unidade escavocarregadora com caçamba vazia;
- Manobra da unidade escavocarregadora em direção ao talude de escavação ou corte.

O tempo de ciclo de uma escavocarregadora pode ser dividido em 3 tempos principais, sendo alguns considerados fixos e outros variáveis. Os tempos fixos são o tempo de carga da caçamba, manobra e descarga. Embora sejam chamados de fixos, em função dos tempos se aproximarem de um valor fixo, esses tempos, também, dependem do tipo de material e da condição em que ele se encontra. Já os variáveis correspondem aos tempos necessários para o deslocamento entre o local de corte e a unidade de transporte. Devido a mudança de localização em relação ao corte, esse tempo tende a não ser constante. A Figura 5 ilustra os movimentos realizados no ciclo da pá-carregadeira.

Figura 5 – Movimentos realizados pela pá-carregadeira no seu ciclo



Fonte: adaptado de Dadhich *et al.* (2016).

2.2.2 Tempos de Ciclo da Unidade de Transporte

Como visto anteriormente, a unidade de transporte realiza apenas duas das operações principais em uma obra de terraplenagem, sendo elas o transporte e a descarga de material. Para essas duas operações, o ciclo da unidade de transporte, representada nesse trabalho pelo caminhão basculante, pode ser dividido nos seguintes tempos:

- Tempo de manobra ao entrar na zona de carregamento;
- Tempo de carga da caçamba;
- Tempo de manobra ao sair da zona de carregamento;
- Tempo de transporte com a caçamba carregada;
- Tempo de manobra ao entrar na zona de descarregamento;
- Tempo de descarregamento;
- Tempo de manobra ao sair da zona de descarregamento;
- Tempo de transporte com a caçamba vazia.

Ricardo e Catalani (2007) consideram que os tempos de carga da caçamba, manobras, descarga e aproximação são fixos enquanto que os de transporte, tanto com a caçamba carregada quanto vazia, são variáveis.

Segundo Ricardo e Catalani (2007), o tempo de carga da unidade de transporte pode ser mensurado através da razão entre a capacidade da báscula do caminhão e a capacidade da caçamba da pá-carregadeira, multiplicado pelo tempo de ciclo da pá-carregadeira. Em ambientes com máquinas de especificações diferentes operando em ciclos repetitivos, devem ser consideradas todas as combinações possíveis e a aleatoriedade das mesmas para o cálculo dos tempos de carga (BARBOSA, 2012).

Sobre os tempos variáveis, Ricardo e Catalani (2007) sugerem a decomposição do caminho percorrido pela unidade de transporte em seções e o conhecimento prévio do comprimento das seções, das inclinações de rampas dos segmentos e da resistência ao rolamento em todos os segmentos, fatores esses que devem ser levados em consideração para o cálculo das velocidades da unidade por segmento, conforme observa Barbosa (2012). De posse das velocidades em todas as seções, determina-se os tempos variáveis através da razão entre a distância do segmento pela velocidade desenvolvida pela unidade de transporte no trecho.

2.3 Tecnologias aplicadas à aquisição de dados

Durante o século XX, o mercado de equipamentos de terraplenagem foi marcado pelo avanço tecnológico com a introdução de novos equipamentos e pelo aprimoramento de antigos (TATUM *et al.*, 2006). Já no século XXI, a indústria do setor de terraplenagem, seguindo a tendência do mercado tecnológico, aderiu à utilização de tecnologias de informação e sensores para diminuir os custos operacionais, aumentar a produtividade e melhorar a segurança e automação dos equipamentos (AZAR; KAMAT, 2017).

Alguns dos principais fabricantes de equipamentos de terraplenagem e de tecnologias de sensoriamento remoto possuem seus próprios sistemas embarcados com sensores. Por exemplo, a Caterpillar e a Komatsu possuem as soluções *Product Link* e *Komtrax*, respectivamente, para coletar dados em campo sobre localização, consumo de combustível e tempos de ociosidade. Já as empresas de tecnologias como a Trimble e Topcon têm como produtos o *Vision Link* e o *Sitelink3D Enterprise*.

De acordo com Azar e Kamat (2017), muitos desses sistemas não contam com detalhamento das operações e apenas verificam se o equipamento está trabalhando ou ocioso. Além disso, a maioria dessas tecnologias estão somente disponíveis em equipamentos de fabricação recente.

Nos últimos anos, diversas pesquisas voltadas para a aquisição de dados em obras de terraplenagem usaram sensores, juntamente com sistemas de posicionamento global e local para monitorar equipamentos e suas atividades, tais como as de Alhasan e White (2016), Pradhananga e Teizer (2015), Alshibani e Moselhi (2016) e Montaser *et al.* (2012). Sistemas embarcados com RFID, e sensores de pressão, peso e de ângulo foram algumas tecnologias utilizadas para aquisição de dados nas pesquisas de Montaser e Moselhi (2012) e Jaselskis *et al.* (1995).

O surgimento da IoT fez com que objetos pudessem coletar dados por meio de sensores e microcontroladores, e transmiti-los pela Internet em uma rede sem fio, permitindo que esses objetos pudessem trocar informações com um banco de dados em nuvem por meio de protocolos de comunicação.

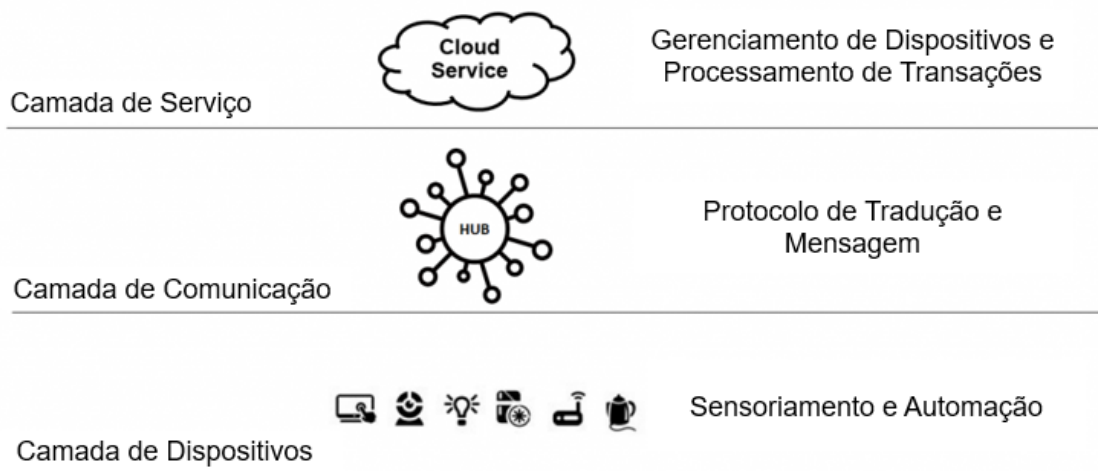
Nos próximos itens, será explicado o funcionamento da IoT e como ela será abordada no sistema de aquisição de dados de tempo de ciclo da pá-carregadeira e do caminhão basculante em obras de terraplenagem.

2.3.1 Internet das Coisas

De acordo com Duce (2008), a expressão Internet das Coisas ou *Internet of Things (IoT)* significa uma rede mundial de objetos interconectados e unicamente endereçáveis, com base em protocolos padrões de comunicação. As origens da IoT estão ligadas ao Centro *Auto-ID* no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), onde pesquisadores deste centro trabalhavam no campo da identificação por radiofrequência (EVANS, 2011).

O uso de IoT envolve a comunicação sem fio entre máquinas e sensores integrados que auxiliam os usuários a controlar e monitorar objetos mesmo à distância. Nesse ambiente de comunicação, tais objetos deverão coletar e transmitir informações via protocolo de comunicação sem fio até um *middleware* ou *software*, o qual fará o processamento dessas informações. De acordo com Wu *et al.* (2010) e Tzounis *et al.* (2017), a IoT pode ser organizada em 3 camadas principais na sua estrutura. Tal organização está ilustrada na Figura 6:

Figura 6 – Estrutura organizacional da IoT



Fonte: adaptado de Fife (2015).

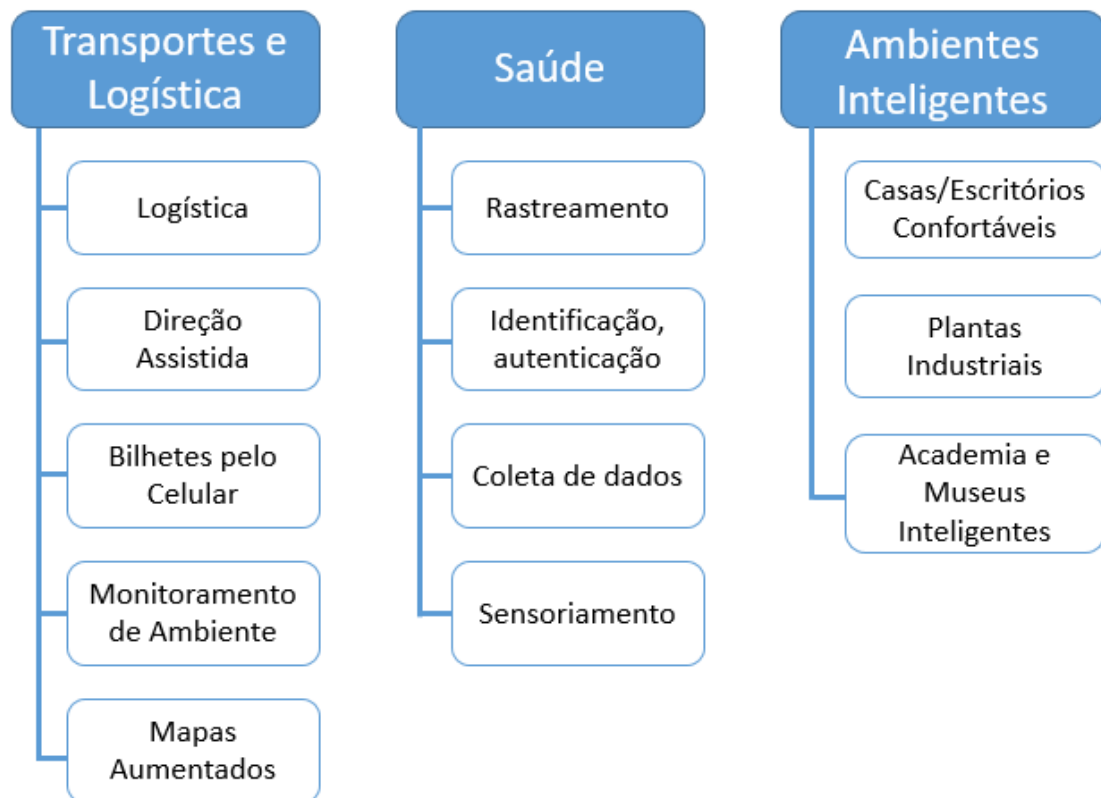
A primeira camada da IoT é conhecida como nível de percepção, pois é onde encontra-se os sensores com microcontroladores, responsáveis pela interação com o ambiente. Quando mais de um sensor com microcontrolador é utilizado para monitoramento ou atuação em uma determinada área, esse conjunto é chamado de Rede de Sensores Sem Fio ou *Wireless Sensor Network (WSN)*.

Já a segunda camada da IoT é o nível de rede, composta pelo protocolo de comunicação. Esse protocolo é responsável pela transferência dos dados entre os sensores, chamado *Machine-to-Machine (M2M)* ou pela transferência dos dados entre os sensores e o servidor,

conhecido como *Machine-to-Server* (M2S) ou pela transferência dos dados entre servidores, chamado de *Server-to-Server* (S2S) (AL-FUQAHA *et al.*, 2015). Lee *et al.* (2007) listam o *Bluetooth*, o *Ultra Wide Band* (UWB), o *ZigBee*, e o *Wi-Fi* como os protocolos de comunicação mais utilizados entre objetos em IoT para curtas distâncias.

A camada final de organização da IoT é o nível de aplicação da informação, composto pelo servidor e um *software* ou *middleware*, o qual recebe, armazena e processa os dados coletados. De acordo com Atzori *et al.* (2010), este nível vem ganhando mais importância nos últimos anos devido a sua função de integração com os diferentes protocolos de comunicação existentes e a simplificação no desenvolvimento de aplicativos para o consumidor. Nesse nível, dependendo do ambiente de aplicação, existem técnicas como as de Computação em Nuvem (*Cloud Computing*), de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) e de Armazenamento e Análise de uma Grande Quantidade de Dados (*Big Data Analytics*), cujas aplicações estão vinculadas ao propósito de utilização dos dados coletados. Potencialmente, as aplicações de IoT são vastas, como por exemplo transportes, logística, saúde e ambientes inteligentes. Uma série de aplicações são mostradas na Figura 7.

Figura 7 – Exemplos de aplicações de IoT



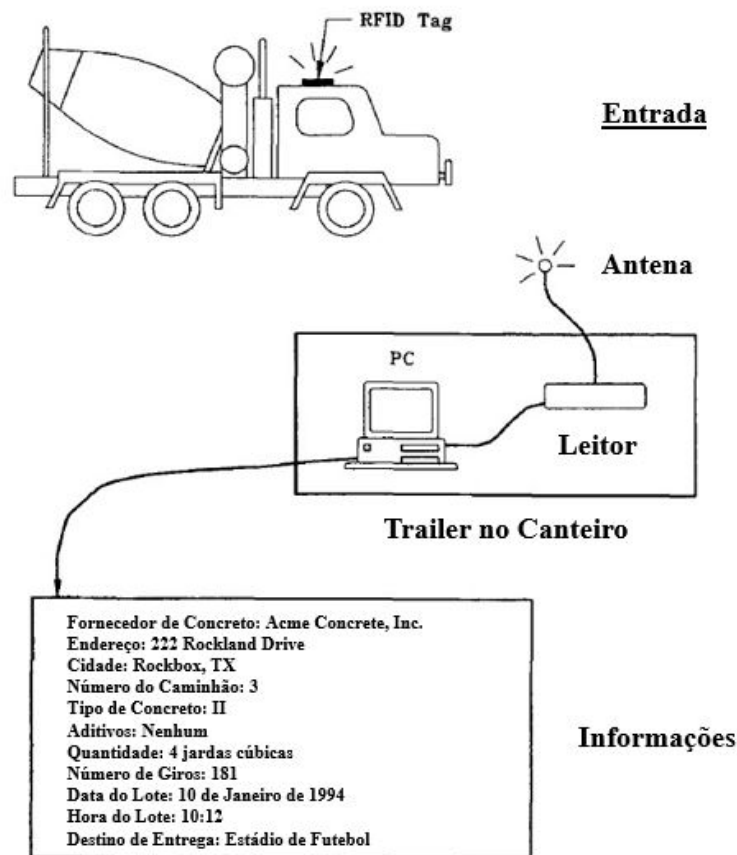
Fonte: adaptado de Atzori *et al.* (2010).

Na engenharia civil, a IoT possui, por exemplo, aplicações em ambientes de construção inteligentes (KOCHOVSKI; STANKOVSKI, 2018), prédios inteligentes (LILIS; KAYAL, 2018), construção de pré-moldados (LI *et al.*, 2018), segurança da construção (ZHOU; DING, 2017) e sistemas de gerenciamento de ciclo de vida de obras (XU; LU, 2018).

2.3.2 Identificação por Radiofrequência

A tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) consiste de uma identificação automatizada, na qual frequências de rádio são utilizadas para capturar e transmitir dados. Os sistemas de RFID são compostos, basicamente, de etiqueta (s) ou *tag* RFID, antena e um leitor, como mostra a Figura 8. Diferentemente da tecnologia de identificação através de código de barras, o RFID não necessita do campo de visão do objeto a ser identificado. Além disso, o contato físico também não é necessário para identificação do objeto, sendo que a distância de leitura pode estar condicionada ao ambiente, aos equipamentos utilizados e a superfície de instalação das *tags* RFID. Nos últimos anos, a tecnologia RFID se desenvolveu celeremente devido à adaptação das *tags* aos ambientes de uso.

Figura 8 – Exemplo de um sistema de RFID em caminhão betoneira



Fonte: adaptado de Jaselskis *et al.* (1995).

As etiquetas ou *tags* RFID são os componentes capazes de armazenar informações sobre o produto, ao qual está anexada. Elas podem ser divididas entre ativas, passivas e semi-passivas. As *tags* ativas possuem fonte de energia própria e são capazes de transmitir seus sinais de identificação. Devido a suas características, essas etiquetas são mais caras, podem ser utilizadas com sensores e possuem um longo alcance de sinal. As *tags* semi-passivas também possuem fonte de energia própria, mas apenas transmitem seus sinais na presença de um leitor RFID. Já as etiquetas ou *tags* passivas são, geralmente, mais baratas que as demais e utilizam a energia de radiofrequência transmitida pelo leitor para emitir o seus sinais. As diferenças entre as *tags* RFID disponíveis são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de *tags* RFID

-	Tag Ativa	Tag Passiva	Tag Semi-Passiva
Alcance	Até 100 metros	Até 15 metros	Entre 60-80 metros
Fonte de Energia	Bateria Própria	Induzido pelo leitor	Ativado por sinal
Armazenamento de Dados	Expansível	512 bytes até 4 KB	Expansível
Taxa de Transferência de Dados	Até 128 KB/s	Até 1 KB/s	Até 16 KB/s
Durabilidade	Até 10 anos	Sem limites	Até 6 anos

Fonte: adaptado de Valero *et al.* (2015).

Diferentemente do código de barras, que somente pode ser lido, as etiquetas ou *tags* RFID possuem memória de armazenamento e as informações contida nelas podem ser reescritas. Etiquetas com tecnologia *Ultra High Frequency* (UHF) com frequências de 433 MHz e 860-960 MHz, as quais são conhecidas por operarem em distâncias maiores, podem armazenar 512 bits, por exemplo.

Em relação a instalação e operação das etiquetas, sabe-se que existem no mercado inúmeros tipos de etiquetas que são indicadas para diferentes tipos de serviços e ambientes. Etiquetas usadas para ambientes de difícil acesso podem, por exemplo, suportar choques, possuir grau de proteção IP e atuar em temperaturas que variam entre -40°C a +65°C. Além disso, a superfície de contato com o objeto a ser identificado é um fator essencial na escolha da etiqueta RFID. Hoje, existem modelos capazes de serem instalados em superfícies plásticas, líquidas, metálicas e não-metálicas.

Outro componente de um sistema de RFID é o leitor RFID ou RFID *reader*. A principal função desse componente é comunicar-se, através da antena RFID, com as etiquetas e transmitir a informação da mesma para o *middleware* ou *software*. Em qualquer tipo de aplicação, o RFID *reader* pode identificar e incluir continuamente elementos de um sistema, filtrar um tipo específico de etiqueta ou (re)codificar etiqueta(s). Atualmente, os leitores RFID possuem

diferentes formas de aplicação e instalação. Eles podem ser fixos, como portais scanners ou gateways, ou móveis, como por exemplo scanners portáteis ou embarcados em veículos, segundo Omar e Nehdi (2016).

Para realizar a comunicação entre RFID *readers* e etiquetas RFID é necessário o uso de antenas RFID. Essa antena tem a função de converter corrente elétrica em ondas eletromagnéticas e transmiti-las para etiquetas, da mesma forma deve receber essas ondas e convertê-las em corrente elétrica (recebendo o sinal emitido/refletido pelas etiquetas). Atualmente, existem dois tipos de antenas mais comumente utilizadas, as que emitem sinais polarizados lineares ou circulares. A orientação dos campos elétricos de radiação irá variar de acordo com o sistema RFID proposto. Para identificação de etiquetas em longas distâncias ou com obstáculos é aconselhável o uso de antenas que emitem sinais lineares. Já para sistemas de curtas distâncias ou que necessitam de flexibilidade no raio de ação da antena, o aconselhável são antenas de sinais circulares.

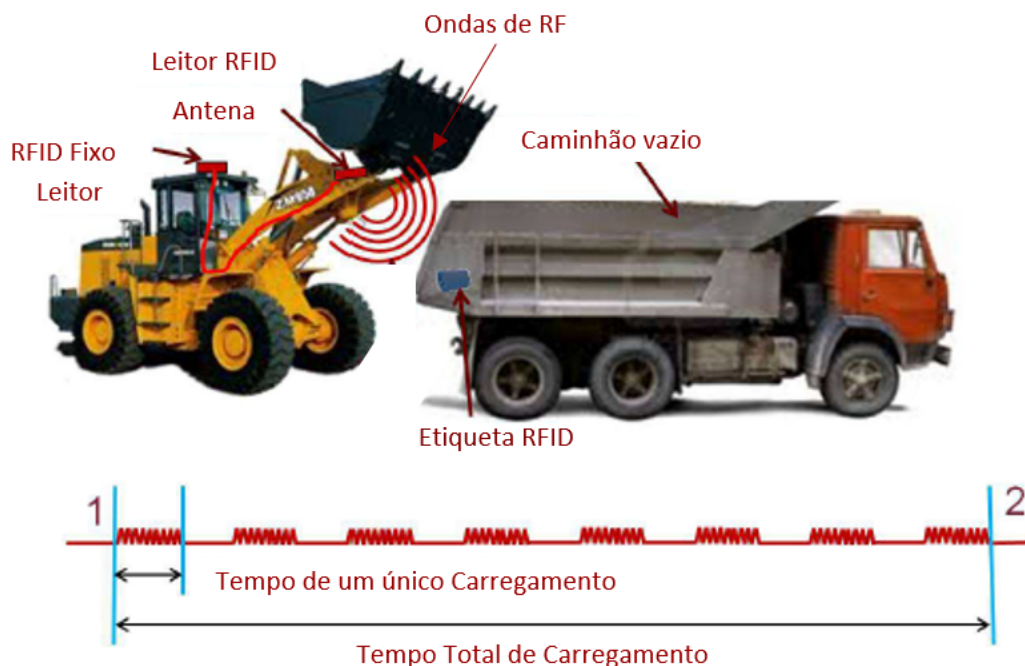
Por fim, as informações coletadas das etiquetas pelo leitor através da antena são transmitidas para o *middleware* ou *software* RFID. Esse tem a função de enviar comandos aos equipamentos do sistema e receber as informações das etiquetas e entregá-las ao usuário de forma clara e objetiva. A interface usuário-sistema RFID é realizada pelo *middleware* RFID, permitindo visualizar dados em tempo real, incluir atualizações no banco de dados de etiquetas do sistema e (re)configurar a infraestrutura de operação da identificação. Assim como os outros componentes do sistema, o *middleware* RFID possui diferentes interfaces de acordo com o objetivo da implantação. De forma geral, as informações que aparecem para o usuário são, além da própria identificação do elemento, a data e a hora de identificação da etiqueta. No entanto, em sistemas mais complexos, que utilizam sensores e GPS, por exemplo, as informações de localização e de dados analógicos e digitais podem também ser transmitidos com a identificação.

O campo de utilização da tecnologia de identificação RFID é vasto. Sabe-se do seu uso em transportes públicos, sistemas de pagamentos, passaportes, controle de acesso de bens e pessoas e sistemas hospitalares. Na engenharia civil, o monitoramento de equipamentos e localização de objetos e pessoas em obras são, constantemente, objetos de estudo (MONTASER; MOSELHI, 2013). Na indústria da construção, o RFID pode estar presente nos quatro principais estágios do ciclo de uma estrutura: planejamento e concepção, construção, operação e manutenção (VALERO *et al.*, 2015). Em obras de terraplenagem, essa tecnologia vem sendo utilizada no rastreamento de equipamentos e obtenção de tempos de ciclos (MONTASER; MOSELHI, 2012).

Montaser e Moselhi (2012) citam o uso de *tags* RFID passivas em caminhões basculantes e um sistema de portões com leitores RFID, os quais foram fixados na zona de carregamento e descarregamento, capazes de fazer a leitura das *tags* quando caminhões se deslocam através dele. Nesse caso, o tempo de ciclo do equipamento é obtido através da diferença do intervalo de identificação da *tags*. As informações são transmitidas via *wireless* para um computador *onsite* e, posteriormente, para uma central de banco de dados. Nesse mesmo trabalho, Montaser e Moselhi (2012) realizam a comparação econômica entre a utilização de GPS e RFID e sugerem um ponto de equilíbrio para escolha de qual tecnologia usar para monitoramento de tempos de ciclo de equipamentos. No entanto, esse trabalho restringe o caminho-de-serviço através de portões, não sendo adequado em obras de terraplenagem que possuem diversos caminhos-de-serviço.

Em obras de desenvolvimento linear, como a construção de estradas, as equipes, que atuam dentro das áreas de descarregamento, se deslocam longitudinalmente à medida que a rodovia vai sendo construída. Assim, sistemas foram desenvolvidos através de leitores RFID e sensores embarcados nos próprios equipamentos, permitindo que a identificação de objetos fosse móvel. Por exemplo, Montaser e Moselhi (2013) desenvolveram um sistema no qual o leitor RFID é fixado na unidade escavocarregadora e as *tags* RFID na unidade transportadora, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Sistema RFID móvel

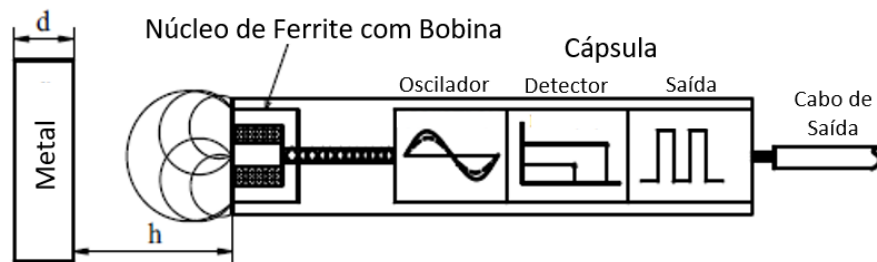


Fonte: adaptado de Montaser e Moselhi (2013).

2.3.3 Sensor Indutivo

Amplamente utilizados na indústria, sensores indutivos são capazes de medir o deslocamento ou distância de objetos metálicos (KOKOLANSKI *et al.*, 2014). Em um sensor indutivo de aproximação simples, é fornecido ao sensor uma carga elétrica, que causa uma alternância na corrente que circula em uma bobina contida nele. Quando um condutor ou um objeto magneticamente permeável, um metal por exemplo, se aproximam da bobina, ocorre alteração em sua impedância. Assim, é emitido um sinal de que um objeto está presente quando existe uma alteração dessa impedância (HOWARD, 2013). A Figura 10 mostra a configuração de um sensor indutivo de aproximação.

Figura 10 – Configuração de um sensor indutivo de aproximação



Fonte: adaptado de Hoai e Thanh (2016).

O sensor indutivo foi inserido no mercado para ser uma opção de troca pelas chaves-de-fim-de-curso no final dos anos 60. As chaves-de-fim-de-curso são dispositivos eletromecânicos capazes de indicar quando o objeto termina seu movimento. Já o sensor indutivo reage a proximidade de objetos metálicos através da impedância. Pelo fato de não exigir contato entre a extremidade do sensor e a superfície metálica, o sensor indutivo proporciona maior durabilidade e segurança de operação quando comparado à chave-de-fim-de-curso.

Howard (2013) demonstra que sensores indutivos já foram utilizados em situações de difícil operabilidade e mesmo assim possuem um histórico de confiabilidade, sendo uma escolha para aplicações de alto risco, como por exemplo nos setores militar, aeroespacial e da indústria pesada. O motivo para essa sólida reputação de aplicação está relacionado à física básica e aos princípios de operação, capazes de atuar independentemente de contatos elétricos em movimento, temperatura, umidade e corpos estranhos, tais como grãos de areia. Devido à natureza de seus elementos operacionais, os sensores indutivos são geralmente robustos. Tal característica traz diversas vantagens, como precisão, durabilidade e confiabilidade. Entretanto, essa mesma característica apresenta desvantagens que impedem que esses sensores sejam usados

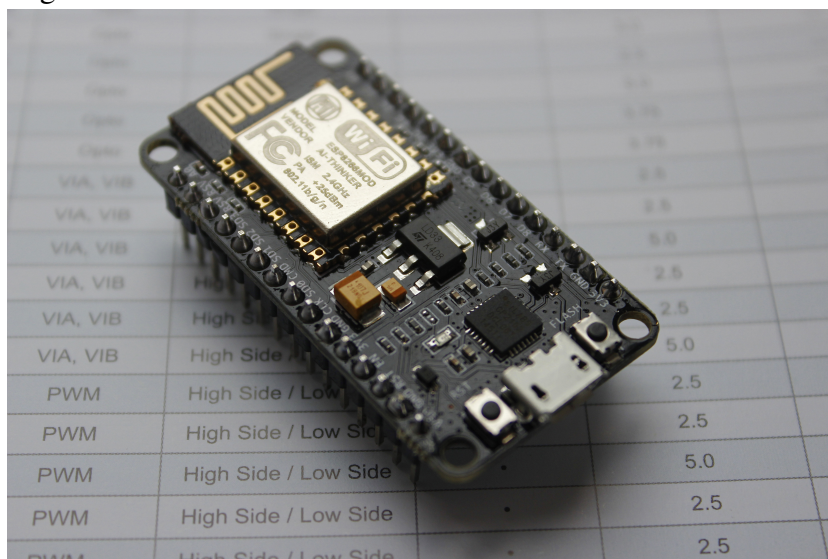
mais frequentemente em ambientes de pequeno espaço físico, pois são dispositivos grandes e pesados (HOWARD, 2013).

Kokolanski *et al.* (2014) propõem e analisam experimentalmente o conceito de *Direct Interface Circuit* em sensores indutivos. Nesse tipo de circuito, o sensor é conectado diretamente a um microcontrolador sem circuitos intermediários, visando reduzir o custo e o consumo de energia de interfaces eletrônicas. No circuito proposto por Kokolanski *et al.* (2014) necessita-se apenas de um resistor externo para a operação.

2.3.4 IoT Hardware

De acordo com Singh e Kapoor (2017), os *hardwares* para IoT podem ser divididos em dispositivos vestíveis, como *Samsung Gear*, *Fit Bit*, *Google Glass*, ou sistemas de placas embarcados, como ESP8266, Arduino, *Raspberry Pi* e o *BeagleBone*. Nesses sistemas de placas embarcados, o *hardware* é composto de uma placa de circuito com unidade microcontroladora, conversores analógico/digitais (ADC) e digitais/analógicos (DAC), portas de entrada e saída digitais (I/O), módulo de comunicação e fonte de energia. A unidade microcontroladora, um dos principais componentes da placa, é responsável por coletar e processar os sinais capturados pelos sensores e transmiti-los à rede através do módulo de comunicação (VIEIRA *et al.*, 2003). A Figura 11 mostra a placa de desenvolvimento de IoT ESP8266 NodeMCU.

Figura 11 – Placa de desenvolvimento ESP8266 NodeMCU



Fonte: Wikipedia (2015).

Para a utilização do *hardware* é necessário que os comandos de funcionamento do mesmo sejam pré-estabelecidos pelo usuário através de uma programação. O *Raspbian*,

da *Raspberry Pi* e o Arduino IDE, da Arduino, são alguns dos diversos tipos de *softwares* disponíveis para programação de *hardware*.

2.3.5 *Protocolo de Comunicação Sem Fio Wi-Fi*

Comunicações sem fio são uma tecnologia de rápido crescimento que permite aos usuários acessar redes e serviços de maneira remota. A mobilidade e o dinamismo nas transferências de informações podem ser considerados as maiores vantagens desta comunicação quando comparada à rede com fio convencional. Conforme mencionado anteriormente, a troca de informações entre os dispositivos de IoT e o servidor é realizada através de protocolos de comunicação. *Bluetooth*, *ZigBee* e *Wi-Fi* são alguns dos padrões de comunicação sem fio utilizados mundialmente.

A comunicação sem-fio *Wi-Fi* é utilizada por produtos certificados que pertencem à classe de dispositivos de rede local sem fios ou *Wireless Local Area Network* (WLAN) baseados no padrão IEEE 802.11. Na sua operação, um dispositivo com comunicação *Wi-Fi* pode ter três “modos” diferentes de atuação: Estação ou Cliente sem fio, Ponto de Acesso e Nó *Ad-Hoc* também conhecido como Nó *Mesh*. As redes de comunicação *Wi-Fi* são criadas a partir de combinações de dispositivos que operam nesses diferentes modos.

No modo estação, o dispositivo com comunicação *Wi-Fi* é considerado como “cliente” dentro de uma zona *Wi-Fi*. Ele se comunica com a internet através de um ponto de acesso. Aparelhos tais como aparelhos celulares, computadores e *tablets*, atuam dessa forma para se conectarem com a internet em zonas *Wi-Fi*. Já no modo de Ponto de Acesso, o dispositivo, conhecido popularmente como roteador de sinal *Wi-Fi*, controla a conexão sem fio para outros dispositivos, como aparelhos celulares por exemplo.

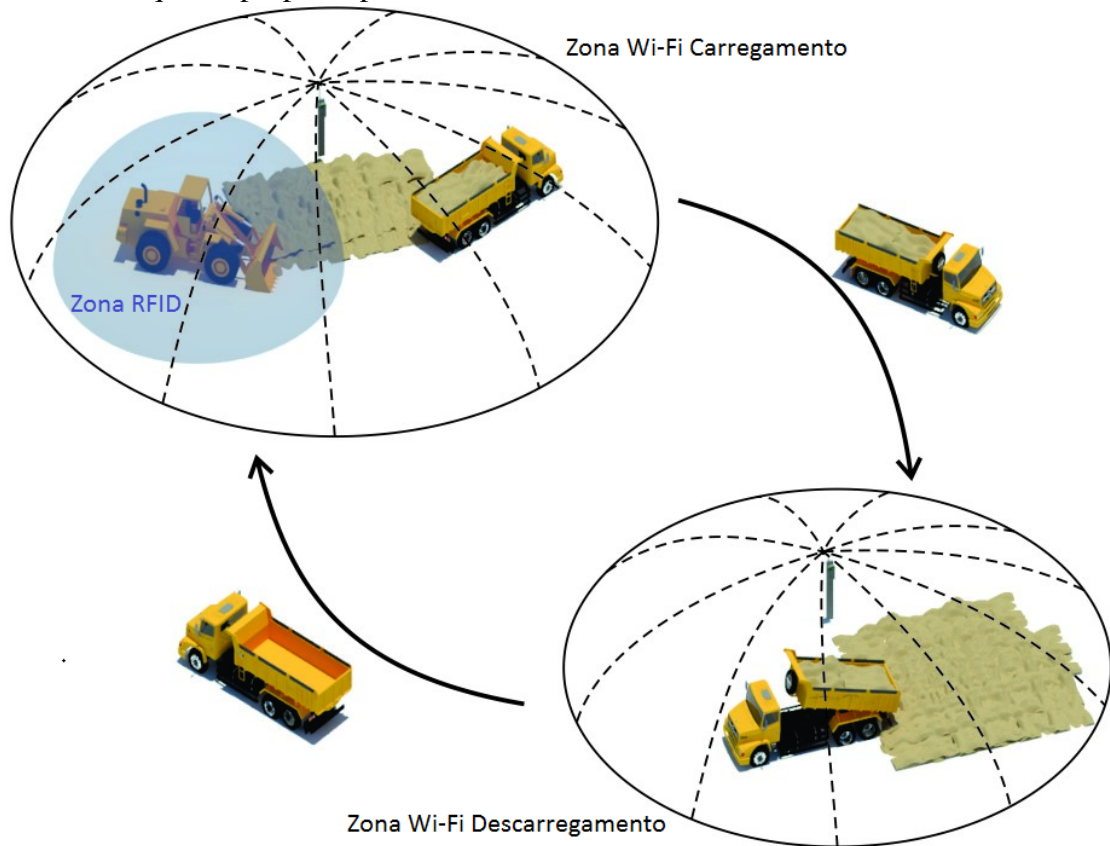
Por fim, o dispositivo no modo *Ad-Hoc* ou *Mesh* não precisa de um ponto de acesso específico para se comunicar com a rede. Um dispositivo nesse modo pode trocar informações com outros aparelhos nesse mesmo modo dentro de uma mesma rede de comunicação.

No setor de tecnologia da informação, Böhm *et al.* (2003) destacaram a importância da mobilidade e das tecnologias sem fio em aplicações que necessitam de comunicação confiável, rápida e em um amplo espaço de cobertura. Os autores, no mesmo artigo, mostraram tendências e oportunidades de aplicação dessas tecnologias no setor da construção. Já Castro-Lacouture *et al.* (2006) utilizaram a tecnologia *Wi-Fi* para rastreamento e identificação de materiais na durante as atividades de construção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, delimitou-se as áreas de carregamento e descarregamento de material, conforme apresentado no esquema da Figura 12. Para solucionar o problema da limitação de acesso às áreas de carga e descarga, por meio do uso de portões RFID fixos, foi proposta a implantação de pontos de *Wi-Fi* localizados nas áreas de carga e descarga que cobrissem os limites físicos das referidas áreas, permitindo obter múltiplos pontos de entrada e saída. Esses pontos de acesso, devido suas características de funcionamento, podem ser deslocados para outras áreas à medida que a obra se desenvolve linearmente. Para fins de prototipagem, considerou-se como pontos de acesso à internet um roteador *Wi-Fi*, interno (*indoor*). No entanto, para aplicações em ambientes externos (*outdoor*), como obras de terraplenagem, aconselha-se o uso de roteadores com maiores alcances e resistentes à ambientes de difícil acesso. Nas duas áreas delimitadas foram obtidos, através do registro de acesso e permanência, os tempos de manobra de aproximação e de manobra de saída das zonas, respectivamente. Além disso, foram obtidos os instantes de saída e de entrada nas respectivas zonas, com a finalidade de se determinar os tempos de viagem do caminhão basculante.

Figura 12 – Esquema proposto para a coleta de dados



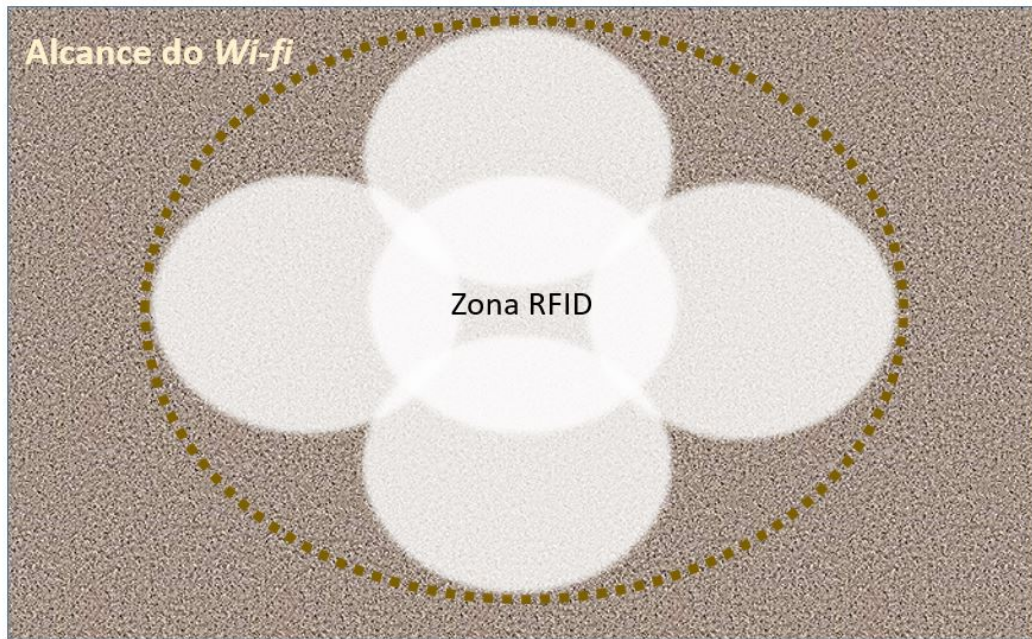
Fonte: Autor (2018).

O objetivo de criar zonas de comunicação por *Wi-Fi* é para permitir a adaptação do sistema de coleta de dados proposto à qualquer área e *layout* de operação de obra de terraplenagem. No sistema proposto, o caminhão basculante pode utilizar diferentes caminhos-de-serviço para acessar as zonas de carga e descarga e, mesmo assim, o registro de acesso e permanência será coletado automaticamente. O sistema proposto registra a operação da pá carregadeira em qualquer lugar na zona de carregamento, conforme apresentado na Figura 13, e ainda assim, o seu tempo de ciclo é calculado através dos dados registrados automaticamente pela aproximação da pá-carregadeira ao caminhão basculante.

No protótipo do caminhão basculante foi instalado um microcontrolador ESP8266 NodeMCU com um sensor indutivo situado entre a balsa e o chassi do caminhão (Figura 14). Esse microcontrolador possui como protocolo de comunicação o *Wi-Fi* e foi utilizado como “cliente” no modo de funcionamento, enviando os sinais do sensor indutivo para o roteador utilizado na zona de descarregamento.

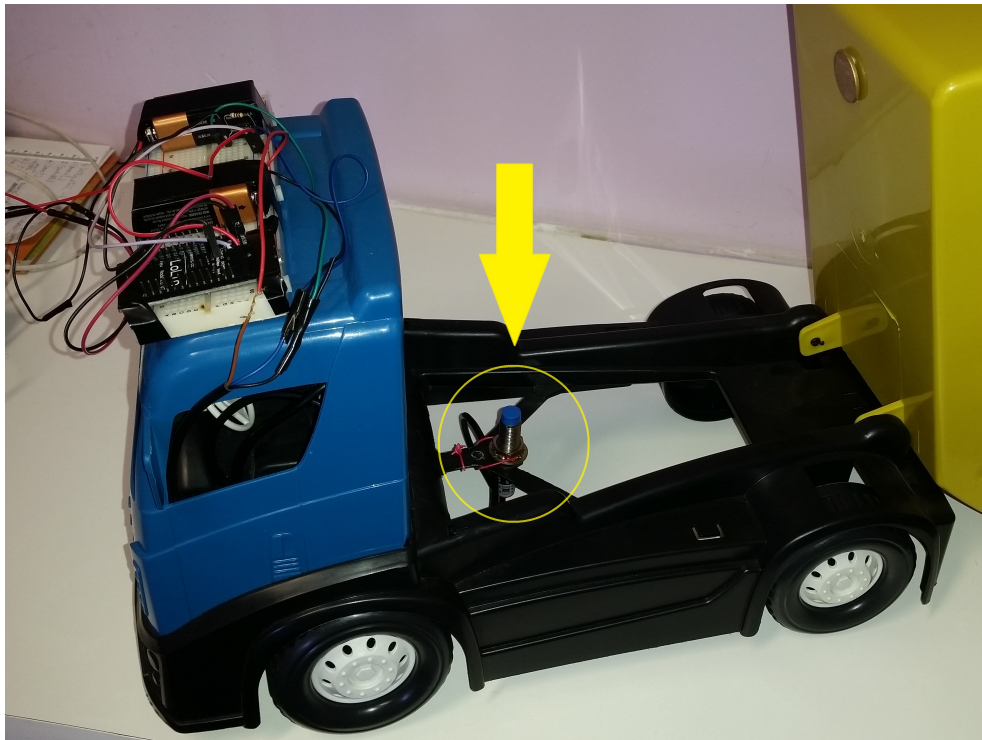
O objetivo do sensor indutivo é detectar a presença do leito da caçamba na posição horizontal. Isso ocorre em todas as demais etapas do ciclo de atividades do caminhão basculante,

Figura 13 – Esquema de movimentação da unidade escavocarregadeira na zona de carregamento



Fonte: Autor (2018).

Figura 14 – Localização do sensor indutivo no caminhão basculante



Fonte: Autor (2018).

exceto na descarga de material. Assim, o sensor indutivo indicará o momento exato em que a caçamba iniciou o processo de descarga de material, bem como o momento de término da descarga através da detecção da superfície metálica, a qual é composta a caçamba do caminhão basculante.

Para fins de prototipagem no caminhão basculante, além do ESP8266 NodeMCU foi utilizado um resistor de 1K, com a finalidade de limitar a corrente elétrica no circuito formado. Como fonte de energia do circuito, foram utilizadas baterias de 9V conectadas ao sensor indutivo e ao ESP8266 NodeMCU.

Além do sensor indutivo instalado no caminhão basculante, foi anexada uma etiqueta RFID, cujo propósito é a identificação do caminhão durante a atividade de carregamento realizado pela pá-carregadeira. No protótipo construído, a etiqueta RFID foi instalada na lateral da báscula do caminhão, pois devido a limitação de alcance da antena RFID utilizada, esta região do caminhão era a mais próxima da pá-carregadeira no momento do carregamento. Em uma utilização em um sistema real, aconselha-se a utilização de antenas RFID de longo alcance para não restringir a movimentação da pá-carregadeira no carregamento.

Na pá-carregadeira foi instalado um microcontrolador ESP8266 NodeMCU com um módulo leitor RFID MFRC522. O leitor RFID, que possui a antena conectada com ele, foi instalado na parte frontal da pá-carregadeira do protótipo, como pode ser visto na Figura 15. O microcontrolador possui como protocolo de comunicação o *Wi-Fi* e foi utilizado como “cliente” no modo de funcionamento, enviando os dados das etiquetas presentes nos caminhões para o roteador utilizado na zona de carregamento.

Para determinar o tempo de ciclo da pá-carregadeira, o leitor RFID nela instalado deve identificar a etiqueta RFID presente no caminhão basculante quando a pá-carregadeira se aproximar do caminhão. Tal identificação será realizada a cada vez que a pá-carregadeira se aproximar do caminhão, concluindo o seu ciclo de operação. A Figura 16 ilustra a movimentação da pá-carregadeira equipada com uma antena, definindo uma zona de alcance RFID. A soma dos intervalos de tempo entre identificações consecutivas de uma mesma etiqueta corresponde ao tempo total de carregamento do caminhão.

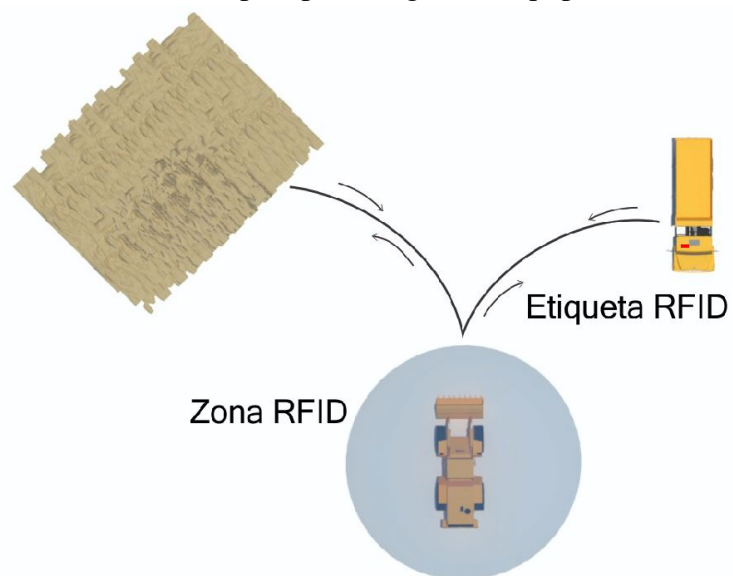
Para visualização dos tempos de cada atividade foi utilizado o recurso de formulário e planilha *online* do Google. Primeiramente, estabeleceu-se a comunicação entre o formulário e a planilha através de uma chave API. Todos os dados de entrada no formulário Google são armazenados na planilha, registrando o momento exato da sua obtenção. Na programação das placas ESP8266 NodeMCU, instaladas, tanto no caminhão basculante quanto na pá-carregadeira, foram incluídos, através do *software* Arduino IDE, códigos para enviar dados coletados pelos sensores automaticamente para o formulário Google. Os códigos de programação das placas ESP8266 NodeMCU encontram-se no Apêndice A e B. O processo de transferência dos dados

Figura 15 – Protótipo de pá-carregadeira equipado com RFID



Fonte: Autor (2018).

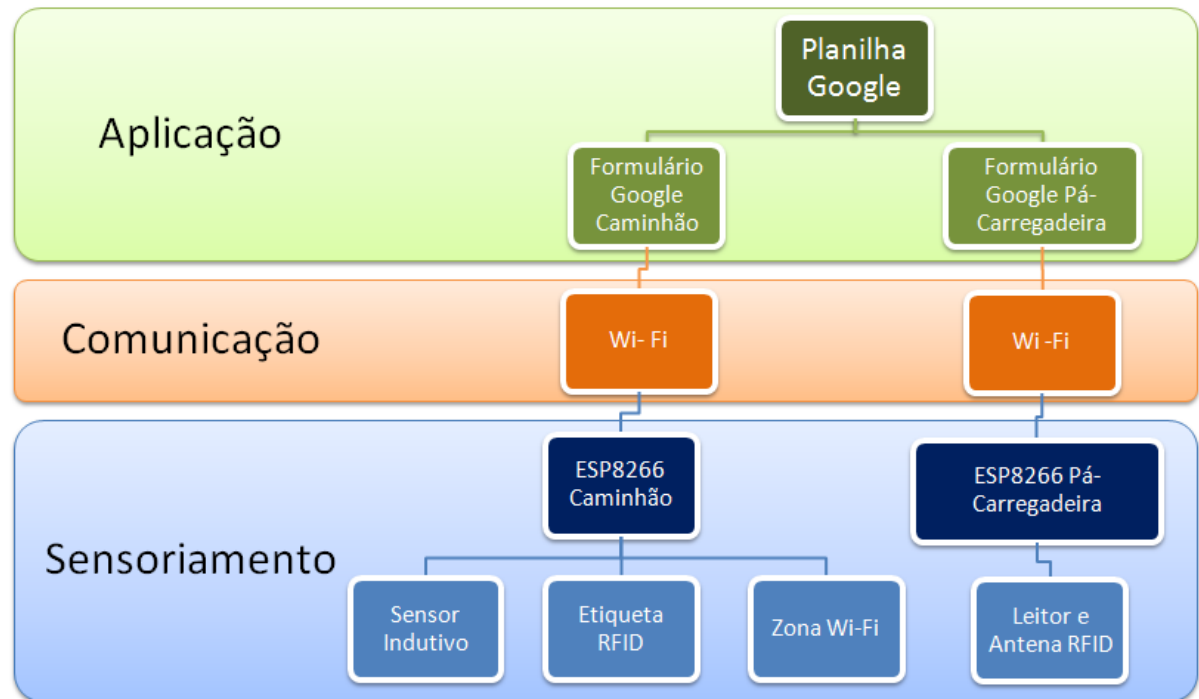
Figura 16 – Movimentos realizados pela pá-carregadeira equipada com o RFID



Fonte: Autor (2018).

de tempo de ciclo coletados pode ser melhor visualizado através da Figura 17.

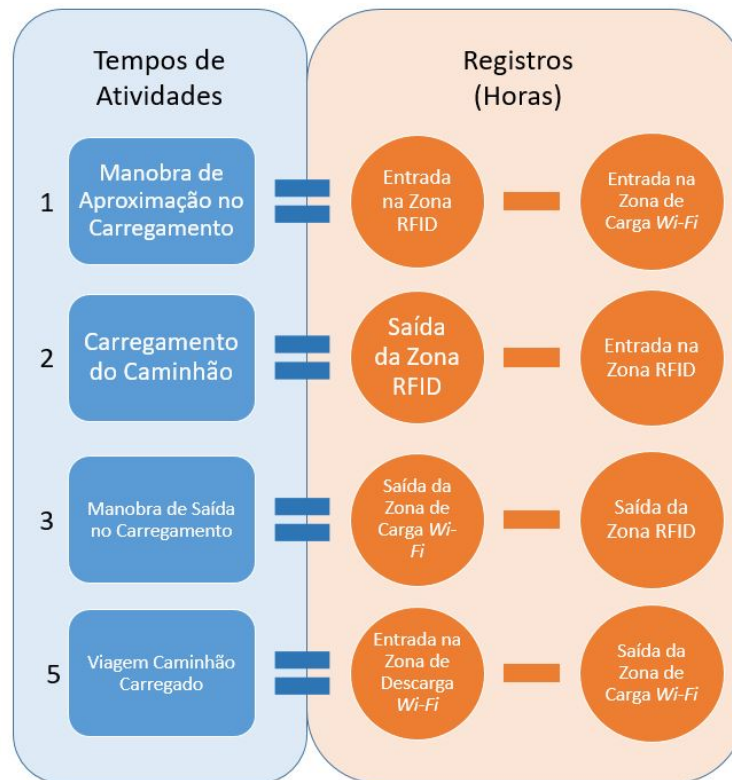
Figura 17 – Esquema de obtenção e transferência de dados de tempos de ciclo



Fonte: Autor (2018).

As informações sobre tempos de ciclo são obtidas das planilhas do Google após uma programação realizada no Banco de Dados. Para extração das informações sobre as atividades que englobam o tempo de ciclo do caminhão basculante, foram utilizadas as formulações mostradas nas Figuras 18 e 19.

Figura 18 – Metodologia para tempos das atividades do caminhão próximas à região de carga



Fonte: Autor (2018).

Figura 19 – Metodologia para tempos das atividades do caminhão próximas à região de descarga



Fonte: Autor (2018).

4 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da sistematização desenvolvida, bem como os protótipos de aquisição automática de dados de tempo de ciclo de terraplenagem. Além disso, serão detalhadas as premissas adotadas para obtenção das informações sobre o tempo de ciclo dos equipamentos de terraplenagem envolvidos neste trabalho. Todos os dados obtidos e mostrados nas figuras seguintes foram obtidos em laboratório, a partir dos protótipos desenvolvidos, e podem não corresponder aos tempos de atividades realizados por equipamentos de terraplenagem.

Os dados obtidos do sensor RFID instalado na pá-carregadeira foram inseridos nas colunas (A) “Data e Hora de Leitura” e coluna (B) “Etiqueta RFID” da planilha relativa a este sensor, como observado na Figura 20. Através de funções de comparações lógicas entre os dados da coluna (A) e (B), as colunas de informações (K, M, O e Q) mostram os registros de hora de início e término de carregamento do caminhão pela pá-carregadeira. Já as colunas (E) e (F) são referentes aos ciclos da pá-carregadeira. A partir dessas informações são obtidos os tempos de ciclos da pá-carregadeira, o tempo de carregamento do caminhão e o tempo que a pá-carregadeira fica ociosa entre o término de um carregamento de um caminhão e o início de outro carregamento.

Figura 20 – Planilha de resultados do sensor RFID instalado na pá-carregadeira

	A	B	C	D	E	F	H	I	K	M	O	Q
1	Data e Hora de Leitura	Etiqueta RFID	Data	Hora	Ocioso	Tempo de Ciclo Pá-Carregadeira	Tempo de Carregamento	Etiqueta RFID	Entrada no RFID Caminhão C	Entrada no RFID Caminhão C	Saída do RFID Caminhão C	Saída do RFID Caminhão C
362	21/06/2018 08:32:13	Caminhão E	21/06/2018	08:32:13		00:00:54						
363	21/06/2018 08:33:07	Caminhão E	21/06/2018	08:33:07		00:00:42						
364	21/06/2018 08:33:49	Caminhão E	21/06/2018	08:33:49		00:01:07	0:02:43	Caminhão E				
365	21/06/2018 08:34:56	Caminhão E	21/06/2018	08:34:56	0:00:46							
366	21/06/2018 08:35:42	Caminhão D	21/06/2018	08:35:42		00:00:40						
367	21/06/2018 08:36:22	Caminhão D	21/06/2018	08:36:22		00:00:41						
368	21/06/2018 08:37:03	Caminhão D	21/06/2018	08:37:03		00:00:49	0:02:10	Caminhão D				
369	21/06/2018 08:37:52	Caminhão D	21/06/2018	08:37:52	0:00:46							
370	21/06/2018 08:38:38	Caminhão C	21/06/2018	08:38:38		00:00:46				08:38:38		
371	21/06/2018 08:39:24	Caminhão C	21/06/2018	08:39:24		00:00:38						
372	21/06/2018 08:40:02	Caminhão C	21/06/2018	08:40:02		00:00:43	0:02:07	Caminhão C				
373	21/06/2018 08:40:45	Caminhão C	21/06/2018	08:40:45	0:00:48						08:40:45	
374	21/06/2018 08:41:33	Caminhão E	21/06/2018	08:41:33		00:00:44						
375	21/06/2018 08:42:17	Caminhão E	21/06/2018	08:42:17		00:01:06						
376	21/06/2018 08:43:23	Caminhão E	21/06/2018	08:43:23		00:00:34	0:02:24	Caminhão E				
377	21/06/2018 08:43:57	Caminhão E	21/06/2018	08:43:57	0:00:36							
378	21/06/2018 08:44:33	Caminhão D	21/06/2018	08:44:33		00:00:45						
379	21/06/2018 08:45:18	Caminhão D	21/06/2018	08:45:18		00:00:43						
380	21/06/2018 08:46:01	Caminhão D	21/06/2018	08:46:01		00:00:51	0:02:19	Caminhão D				
381	21/06/2018 08:46:52	Caminhão D	21/06/2018	08:46:52	0:00:46							
382	21/06/2018 08:47:38	Caminhão E	21/06/2018	08:47:38		00:00:37						
383	21/06/2018 08:48:15	Caminhão E	21/06/2018	08:48:15		00:00:49						

Fonte: Autor (2018).

De maneira similar, os dados obtidos através da entrada e saída do caminhão da zona *Wi-Fi* e do sensor indutivo, ambos instalados no caminhão basculante, constam nas colunas (A) “Data e Hora de Leitura” e na coluna (B) “Estado Caminhão” na tabela da Figura 21. Esta planilha mostra também a utilização de funções de comparações lógicas entre os dados obtidos das colunas (A) e (B), o registro da hora em que o caminhão entra e sai das zonas de *Wi-Fi* e o início e término do descarregamento de material transportado.

Figura 21 – Planilha de resultados do protótipo instalado no caminhão basculante

	A	B	F	H	J	L
1	Carimbo de data/hora	Estado Caminhão	Entrada na Zona Wi-Fi	Início de Descarregamento	Término de Descarregamento	Saída da Zona Wi-Fi
1186	21/06/2018 08:28:30	Na zona				
1187	21/06/2018 08:28:31	Na zona				
1188	21/06/2018 08:28:33	Na zona				
1189	21/06/2018 08:28:35	Na zona				
1190	21/06/2018 08:28:36	Na zona				
1191	21/06/2018 08:28:38	Na zona				
1192	21/06/2018 08:28:39	Na zona				
1193	21/06/2018 08:28:41	Na zona				
1194	21/06/2018 08:28:42	Na zona				08:28:42
1195	21/06/2018 08:32:33	Entrou na zona	08:32:33			
1196	21/06/2018 08:32:35	Na zona				
1197	21/06/2018 08:32:38	Na zona				
1198	21/06/2018 08:32:41	Na zona				
1199	21/06/2018 08:32:43	Na zona				
1200	21/06/2018 08:32:44	Na zona				
1201	21/06/2018 08:32:46	Na zona				
1202	21/06/2018 08:32:47	Na zona				
1203	21/06/2018 08:32:49	Na zona				
1204	21/06/2018 08:32:49	Início de Descarga		08:32:49		
1205	21/06/2018 08:32:52	Na zona				
1206	21/06/2018 08:32:53	Na zona				
1207	21/06/2018 08:32:55	Na zona				
1208	21/06/2018 08:32:56	Na zona				
1209	21/06/2018 08:32:58	Na zona				
1210	21/06/2018 08:33:00	Na zona				

Fonte: Autor (2018).

Na Figura 22, tem-se, nas linhas de 1 a 10, a planilha com a seleção dos registros dos equipamentos fornecidos pelas planilhas anteriores. Esses registros estão organizados cronologicamente e por ciclo, como pode ser observado desde a coluna (B) até a coluna (I). Nas linhas 12 a 21 da Figura 22, são mostradas as durações das atividades relativas ao ciclo do caminhão basculante, essas durações são obtidas através de relações das horas mostradas nas linhas 1 a 10.

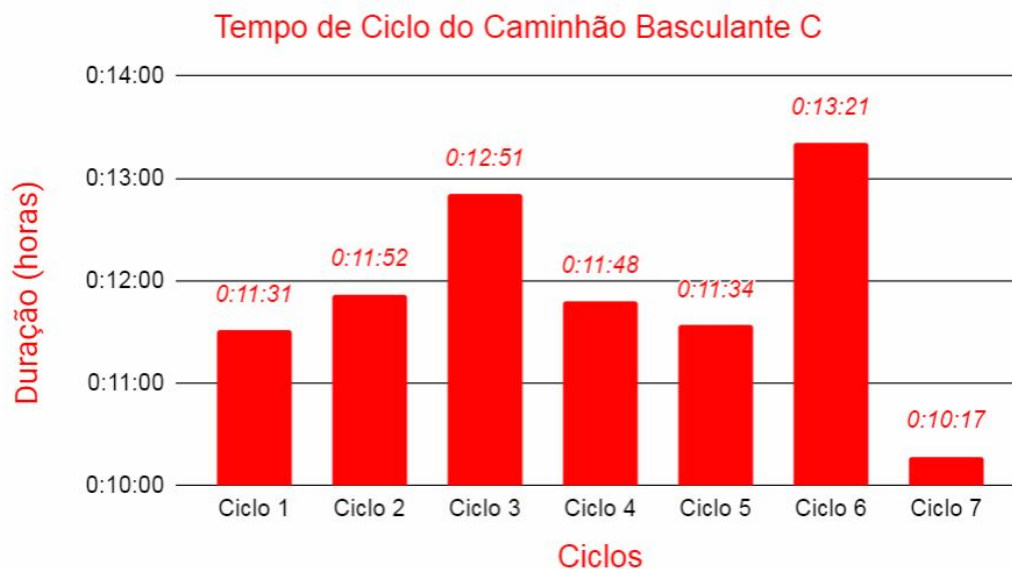
Figura 22 – Resultados do tempo de ciclo do caminhão basculante

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Registro	Horas de Início/Fim da atividade							
2		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8
3	Entrada na Zona de Carga Wi-Fi	08:25:54	08:37:25	08:49:17	09:02:08	09:13:56	09:25:30	09:38:51	09:49:08
4	Entrada na Zona RFID	08:26:13	08:38:38	08:50:26	09:02:21	09:14:32	09:26:59	09:39:07	
5	Saída da Zona RFID	08:28:24	08:40:45	08:52:49	09:04:27	09:16:44	09:29:09	09:41:11	
6	Saída da Zona de Carga Wi-Fi	08:28:42	08:40:58	08:53:01	09:04:31	09:17:01	09:29:25	09:41:27	
7	Entrada na Zona de Descarga Wi-Fi	08:32:33	08:44:46	08:56:36	09:08:39	09:20:34	09:34:00	09:44:39	
8	Início da Descarga	08:32:49	08:45:01	08:56:53	09:08:56	09:20:58	09:34:18	09:45:04	
9	Término da Descarga	08:34:03	08:46:27	08:58:50	09:10:35	09:22:47	09:36:04	09:46:42	
10	Saída da Zona de Descarga Wi-Fi	08:34:17	08:46:40	08:59:00	09:10:49	09:23:08	09:36:15	09:46:53	
11									
12	Atividades	Duração das Atividades							
13		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8
14	Manobra de Aproximação Carregamento	0:00:19	0:01:13	0:01:09	0:00:13	0:00:36	0:01:29	0:00:16	
15	Tempo de Carregamento	0:02:11	0:02:07	0:02:23	0:02:06	0:02:12	0:02:10	0:02:04	0:00:00
16	Manobra de Saída Carregamento	0:00:18	0:00:13	0:00:12	0:00:04	0:00:17	0:00:16	0:00:16	0:00:00
17	Tempo de Viagem Carregado	0:03:51	0:03:48	0:03:35	0:04:08	0:03:33	0:04:35	0:03:12	0:00:00
18	Manobra de Aproximação Descarregamento	0:00:16	0:00:15	0:00:17	0:00:17	0:00:24	0:00:18	0:00:25	0:00:00
19	Tempo de Descarregamento	0:01:14	0:01:26	0:01:57	0:01:39	0:01:49	0:01:46	0:01:38	0:00:00
20	Manobra de Saída do Descarregamento	0:00:14	0:00:13	0:00:10	0:00:14	0:00:21	0:00:11	0:00:11	0:00:00
21	Tempo de Viagem Vazio	0:03:08	0:02:37	0:03:08	0:03:07	0:02:22	0:02:36	0:02:15	0:00:00
22									
23	Tempo de Ciclo - Caminhão C	0:11:31	0:11:52	0:12:51	0:11:48	0:11:34	0:13:21	0:10:17	0:00:00

Fonte: Autor (2018).

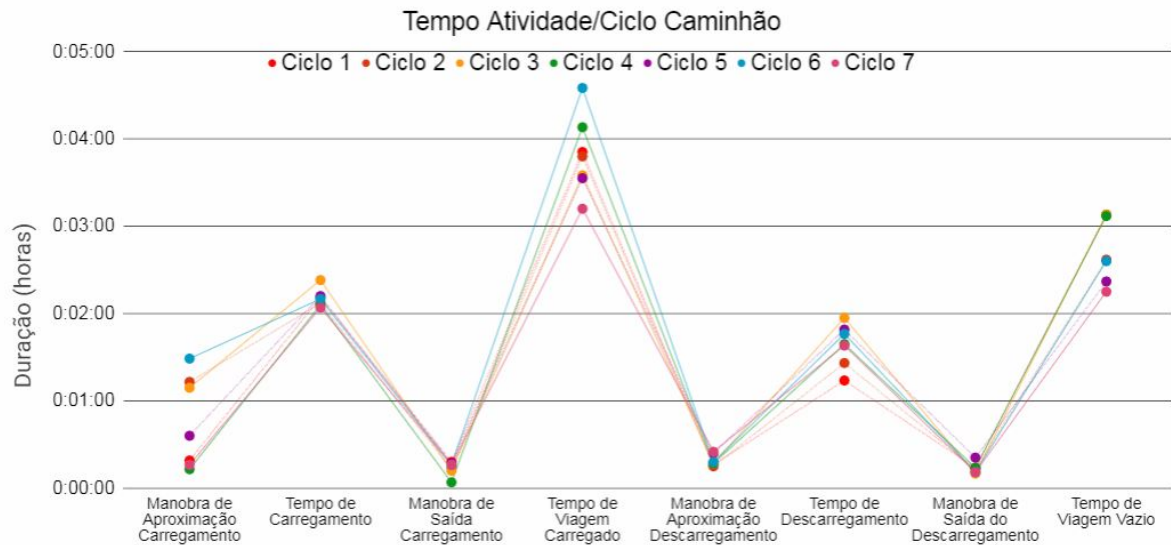
Os tempos de ciclo do caminhão basculante podem ser mostrados graficamente (Figura 23). Já na Figura 24, pode-se observar graficamente os tempos para cada atividade e em cada ciclo. Essa informação pode ajudar na interpretação de possíveis atrasos em atividades específicas.

Figura 23 – Gráfico dos tempos de ciclo do caminhão basculante



Fonte: Autor (2018).

Figura 24 – Gráfico dos tempos de atividades por ciclo do caminhão basculante



Fonte: Autor (2018).

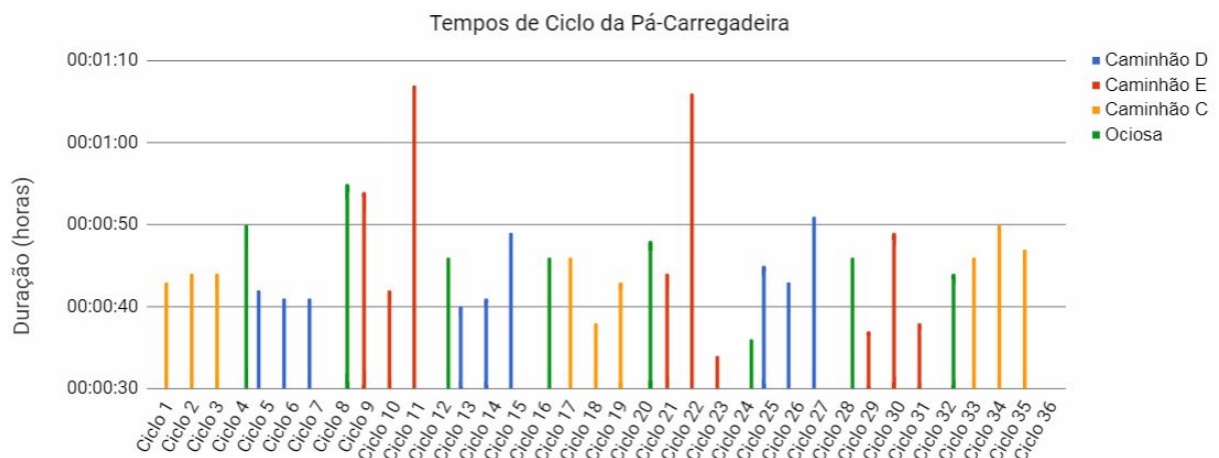
Na Figura 25, tem-se, nas linhas de 3 a 6, a planilha com os tempos de ciclos da pá-carregadeira para cada caminhão identificado por uma etiqueta RFID, além do tempo que a pá-carregadeira fica ociosa entre as trocas de caminhões no carregamento. Os tempos de ciclo da pá-carregadeira podem ser apresentados em forma de gráfico, como mostra a Figura 26.

Figura 25 – Resultados do tempo de ciclo da pá-carregadeira

	Intervalos de Tempo de Ciclo Pá-Carregadeira											
Caminhão Identificado	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
Caminhão C	00:00:43	00:00:44	00:00:44									
Caminhão D					00:00:42	00:00:41	00:00:41					
Caminhão E									00:00:54	00:00:42	00:01:07	
Ociosa				00:00:50				00:00:55				00:00:46

Fonte: Autor (2018).

Figura 26 – Gráfico dos tempos de ciclo da pá-carregadeira



Fonte: Autor (2018).

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com a evolução dos microprocessadores e dos sensores, no século XXI, ocorreu um rápido desenvolvimento dos sistemas eletrônicos, tornando-os cada vez mais robustos e em escalas cada vez menores. Atualmente, diversos sistemas eletrônicos com sensores conectados à rede de computadores e embarcados em objetos físicos compõem a IoT e englobam, por exemplo, as chamadas *Smart Cities*. Aplicados à engenharia civil, esses sistemas buscam a obtenção de dados em campo relativos às atividades e as máquinas. Em obras de terraplenagem, a aquisição de dados de tempos de ciclo de equipamentos é feita, na maioria dos casos, de forma manual. Alguns sistemas de aquisição de dados de tempos de ciclos de equipamentos foram propostos por fabricantes de equipamentos de terraplenagem para mineração, no entanto, tais sistemas são restritos à equipamentos de alto valor comercial, como caminhões fora-de-estrada.

Neste trabalho apresentou-se um sistema de obtenção de dados de tempos de ciclos de pás-carregadeiras e caminhões basculantes, utilizando conceitos de IoT. A partir deste trabalho, percebe-se que até os equipamentos mais modestos e antigos, se contiverem sistemas embarcados, como na idéia proposta neste trabalho, podem ter seus dados de tempos de ciclo de atividades coletados.

Quanto à criação do protótipo embarcado na pá-carregadeira, observa-se que os dados coletados pelo sensor RFID, enviados para o banco de dados via comunicação sem-fio *Wi-Fi*, foram satisfatórios para a determinação de qual caminhão está sendo carregado e qual o tempo de carregamento do mesmo. Essa identificação de carregamento do caminhão basculante foi feita através de uma etiqueta RFID anexada ao caminhão. Por fim, o tempo de carregamento do caminhão corresponde aos tempos de ciclos da pá-carregadeira necessários para completar a carga da bascula do caminhão.

Quanto à criação do protótipo embarcado no caminhão basculante, observa-se que os dados coletados através dos registros de entrada e saída das zonas *Wi-Fi*, tanto de carregamento quanto de descarregamento, foram satisfatórios. Além disso, o protótipo criado, através do sensor indutivo instalado no caminhão, permitiu a obtenção do tempo de descarregamento do caminhão. Todos os dados coletados foram imprescindíveis para a determinação dos intervalos de tempo das atividades relacionadas ao ciclo do caminhão basculante, bem como o seu tempo de ciclo. Assim como no protótipo da pá-carregadeira, os dados deste protótipo também foram enviados para o banco de dados via comunicação sem-fio *Wi-Fi*.

O armazenamento em nuvem utilizando planilhas do Google como banco de dados

do sistema se mostrou uma ferramenta versátil na apresentação dos dados coletados em diferentes plataformas digitais, tais como computador, celular e *tablet*. No envio dos dados para a nuvem, a latência do sistema proposto foi de aproximadamente dois segundos para ambos protótipos elaborados. O sistema elaborado mostrou-se uma ferramenta de grande potencial para a rápida detecção de atrasos nas atividades de terraplenagem. Além disso, ele permitiu o controle das frotas de máquinas envolvidas na operação. Espera-se também que esse sistema auxilie, através dos dados coletados automaticamente, programas de simulação e otimização, visando a alocação correta de recursos em obras de terraplenagem.

5.1 Limitações do trabalho

Em relação ao protótipo embarcado na pá-carregadeira, observe-se que a antena do sensor RFID utilizado não é de longo alcance, o que obrigou a instalação do mesmo na região frontal da pá-carregadeira. Essa região, por ser mais próxima da etiqueta RFID instalada no caminhão basculante no momento de carga, foi a escolhida para a instalação do sensor RFID. Em uma situação real, o alcance da antena RFID deve ser maior e a etiqueta RFID apropriada para ambientes hostis, para que as atividades entre as máquinas não sofram mudanças devido ao sistema de coleta de dados.

A programação da transformação dos dados coletados em informações relevantes, utilizando planilha do Google, exigiu tempo em sua elaboração e a busca na planilha por informações ocorreu de forma manual. Entretanto, a transformação de boa parte dos dados coletados em informações para o sistema ocorreu de forma automatizada através de fórmulas lógicas.

O sistema proposto precisa de conexão com a internet para o seu funcionamento. Para o envio dos dados para o banco de dados, os protótipos devem permanecer ligados durante todas as atividades, bem como os roteadores utilizados nas zonas de carregamento e descarregamento e que servem como pontos de acesso *Wi-Fi*.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Pela criação do sistema proposto neste trabalho, pode-se perceber que são vários os parâmetros envolvidos na obtenção dos dados de tempo de ciclos de equipamentos envolvidos em obras de terraplenagem. A utilização de microcontroladores, sensores ou módulos *Wi-Fi*

mais sofisticados, pode diminuir o intervalo de tempo de envio de informações, melhorando a precisão na obtenção dos dados do sistema proposto.

Algumas plataformas de IoT permitem a utilização de serviços em nuvem que podem ser explorados pelo sistema proposto em trabalhos futuros. Dentre esses serviços pode-se destacar:

- *Machine Learning*, para o reconhecimento de padrões de tempos de ciclos de equipamentos de terraplenagem;
- *Big Data Analytics*, para uso de análise preditiva e de métodos avançados para extrair valores de dados coletados. Uma análise adequada dos dados pode permitir encontrar novas correlações entre os dados coletados e também melhorar decisões, significando maior eficiência operacional dos equipamentos e redução de custos envolvidos;
- Desenvolvimento de aplicativos digitais, para visualização das informações obtidas através dos dados coletados em diferentes plataformas virtuais.

Além disso, a terraplenagem é composta por outros diferentes tipos de equipamentos que ainda não foram explorados profundamente, quanto à aquisição de dados tempos de ciclo. Unidades escavo-empurradoras, escavocarregadoras, escavotransportadoras, escavo-elevadoras, de transporte (caminhão fora-de-estrada), aplainadoras e compactadoras também podem ter seus tempos de ciclos obtidos através da instalação de equipamentos e sensores adequados para tal.

REFERÊNCIAS

- AL-FUQAHA, A.; KHREISHAH, A.; GUIZANI, M.; RAYES, A.; MOHAMMADI, M. Toward better horizontal integration among iot services. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, v. 53, n. 9, p. 72–79, 2015.
- ALHASAN, A. A.; WHITE, D. J. Earthwork haul-truck cycle-time monitoring—a case study. 2016.
- ALSHIBANI, A.; MOSELHI, O. Productivity based method for forecasting cost & time of earthmoving operations using sampling gps data. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 21, n. 3, p. 39–56, 2016.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer networks**, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- AZAR, E. R.; KAMAT, V. R. Earthmoving equipment automation: a review of technical advances and future outlook. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 22, n. 13, p. 247–265, 2017.
- BARBOSA, V. H. B. **Desenvolvimento de Sistema para a Seleção de Equipamentos de Construção - Uma Ferramenta de Apoio à Decisão no Planejamento e Gestão de Obras Rodoviárias**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- BÖHMS, M.; HANNUS, M.; ZARLI, A.; COOPER, G. Ict-related trends opportunities for the construction industry sector. **ROADCON project deliverable report D**, v. 4, 2003.
- CASTRO-LACOUTURE, D.; BRYSON, L. S.; GONZALEZ-JOAQUI, J. Real-time positioning network for intelligent construction. In: **Proceedings of the Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering**. [S.l.: s.n.], 2006. p. 77–86.
- CATERPILLAR. **924H Carregadeira de Rodas**. 2008. Disponível em: <<http://www.pesa.com.br/wp-content/uploads/2015/03/924H.pdf>>.
- DADHICH, S.; BODIN, U.; ANDERSSON, U. Key challenges in automation of earth-moving machines. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 68, p. 212–222, 2016.
- DUCE, H. **Internet of Things in 2020**. [S.l.]: Academic Press, 2008.
- EVANS, D. The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. **CISCO white paper**, v. 1, n. 2011, p. 1–11, 2011.
- FIFE, C. **Securing the IoT Gateway**. 2015. Disponível em: <<https://www.citrix.com/blogs/2015/07/24/securing-the-iot-gateway/>>.
- HOAI, N.; THANH, N. L. C. Improve static performance identification of inductive proximity sensor for a mobile robot. In: EDP SCIENCES. **MATEC Web of Conferences**. [S.l.], 2016. v. 59.
- HOWARD, M. The new generation of inductive sensors. **World Pumps**, Elsevier, v. 2013, n. 2, p. 10–11, 2013.

- JASELSKIS, E. J.; ANDERSON, M. R.; JAHREN, C. T.; RODRIGUEZ, Y.; NJOS, S. Radio-frequency identification applications in construction industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, American Society of Civil Engineers, v. 121, n. 2, p. 189–196, 1995.
- KOCHOVSKI, P.; STANKOVSKI, V. Supporting smart construction with dependable edge computing infrastructures and applications. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 85, p. 182–192, 2018.
- KOKOLANSKI, Z.; JORDANA, J.; GASULLA, M.; DIMCEV, V.; REVERTER, F. Microcontroller-based interface circuit for inductive sensors. **Procedia Engineering**, Elsevier, v. 87, p. 1251–1254, 2014.
- LEE, J.-S.; SU, Y.-W.; SHEN, C.-C. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. In: IEEE. **Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE**. [S.l.], 2007. p. 46–51.
- LI, C. Z.; XUE, F.; LI, X.; HONG, J.; SHEN, G. Q. An internet of things-enabled bim platform for on-site assembly services in prefabricated construction. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 89, p. 146–161, 2018.
- LILIS, G.; KAYAL, M. A secure and distributed message oriented middleware for smart building applications. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 86, p. 163–175, 2018.
- LIMA, R. X. de; JÚNIOR, E. F. N.; PRATA, B. d. A.; WEISSMANN, J. Distribution of materials in road earthmoving and paving: Mathematical programming approach. **Journal of Construction Engineering and Management**, American Society of Civil Engineers, v. 139, n. 8, p. 1046–1054, 2012.
- MCCAHILL, D. F.; BERNOLD, L. E. Resource-oriented modeling and simulation in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, American Society of Civil Engineers, v. 119, n. 3, p. 590–606, 1993.
- MONTASER, A.; BAKRY, I.; ALSHIBANI, A.; MOSELHI, O. Estimating productivity of earthmoving operations using spatial technologies. **Canadian Journal of Civil Engineering**, NRC Research Press, v. 39, n. 9, p. 1072–1082, 2012.
- MONTASER, A.; MOSELHI, O. Rfid+ for tracking earthmoving operations. In: **Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1011–1020.
- MONTASER, A.; MOSELHI, O. Tracking hauling trucks for cut-fill earthmoving operations. In: EDITOR, T. (Ed.). **30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2013): Building the Future in Automation and Robotics**. Montreal, Quebec, Canadá, 2013. v. 2.
- OMAR, T.; NEHDI, M. L. Data acquisition technologies for construction progress tracking. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 70, p. 143–155, 2016.
- PRADHANANGA, N.; TEIZER, J. Cell-based construction site simulation model for earthmoving operations using real-time equipment location data. **Visualization in Engineering**, Nature Publishing Group, v. 3, n. 1, p. 12, 2015.

RICARDO, H. d. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e escavação de Rocha**. 3. ed. São Paulo: PINI, 2007.

RUSSELBERG, K. **The Information Superhighway Goes Off-Road**. 2015. Disponível em: <<http://www.machinedesign.com/iot/information-superhighway-goes-road>>.

SINGH, K. J.; KAPOOR, D. S. Create your own internet of things: A survey of iot platforms. **IEEE Consumer Electronics Magazine**, IEEE, v. 6, n. 2, p. 57–68, 2017.

TANEJA, S.; AKINCI, B.; GARRETT, J. H. Sensing and field data capture for construction and facility operations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 10, p. 870–881, 2011.

TATUM, C.; VORSTER, M.; KLINGLER, M. Innovations in earthmoving equipment: new forms and their evolution. **Journal of construction engineering and management**, American Society of Civil Engineers, v. 132, n. 9, p. 987–997, 2006.

TERRAPLENAGEM.NET. **Caminhão Agrale 13000**. 2010. Disponível em: <<http://www.terraplenagem.net/caminhao-agrale-13000-548/>>.

TZOUNIS, A.; KATSOULAS, N.; BARTZANAS, T.; KITTAS, C. Internet of things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, Elsevier, v. 164, p. 31–48, 2017.

VALERO, E.; ADÁN, A.; CERRADA, C. Evolution of rfid applications in construction: A literature review. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 15, n. 7, p. 15988–16008, 2015.

VIEIRA, M. A. M.; COELHO, C. N.; SILVA, D. D.; MATA, J. M. da. Survey on wireless sensor network devices. In: IEEE. **Emerging Technologies and Factory Automation, 2003. Proceedings. ETFA'03. IEEE Conference**. [S.l.], 2003. v. 1, p. 537–544.

WIKIPEDIA. **Loader (equipment)**. 2018. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Loader_\(equipment\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Loader_(equipment))>.

WU, M.; LU, T.-J.; LING, F.-Y.; SUN, J.; DU, H.-Y. Research on the architecture of internet of things. In: IEEE. **Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010 3rd International Conference on**. [S.l.], 2010. v. 5, p. V5–484.

XU, J.; LU, W. Smart construction from head to toe: A closed-loop lifecycle management system based on iot. In: **Construction Research Congress 2018**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 157–168.

ZHOU, C.; DING, L. Safety barrier warning system for underground construction sites using internet-of-things technologies. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 83, p. 372–389, 2017.

APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE UTILIZADO PARA O MICROCONTROLADOR EMBARCADO NA PÁ-CARREGADEIRA

Código-fonte 1 – Obtenção dos dados por C++

```
1
2
3 #include <ESP8266WiFi.h>
4 WiFiClientSecure client;
5 bool firstTimeEnterZone = true;
6 bool isHigh = false;
7 #include <MFRC522.h>
8 #define RST_PIN      D3
9 #define SS_PIN       D8
10 #define LED          D0
11 #define SDA           D2
12 #define SCL           D1
13 MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
14
15 void connectToWifi() {
16     WiFi.mode(WIFI_STA);
17     WiFi.begin("", ""); //Conecta na rede
18     Serial.print("Trying to Connect...");
19     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
20     {
21         delay(500);
22         Serial.print(".");
23     }
24     Serial.println();
25     Serial.println("Connected");
26 }
27 void setup()
28 {
```



```
29 Serial.begin(115200);
30 pinMode(sensorindutivo, INPUT);
31 connectToWifi();
32 Serial.println("Aproxime o seu cartao do leitor...");
33 mfrc522.PCD_Init(); // Inicia MFRC522
34 Serial.println();
35 digitalWrite(D1,HIGH);
36 pinMode(D1, OUTPUT);
37 }
38
39 bool connectToServer() {
40     return (client.connect("docs.google.com", 443) == 1);
41 }
42
43 void sendToForm(String toSend) {
44     String submitPath = "&submit=Submit HTTP/1.1";
45     client.println(formPath+toSend+submitPath);
46     client.println("Host: docs.google.com");
47     client.println();
48     client.stop();
49     Serial.println("Dados enviados.");
50 }
51
52 void loop(){
53     // Procura por cartao RFID
54     if (! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent())
55     {
56         return;
57     }
58     // Seleciona o cartao RFID
59     if ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial())
60     {
```

```

61     return;
62 }
63 //Mostra UID na serial
64 Serial.print("UID da tag :");
65 String conteudo= "";
66 byte letra;
67 for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++)
68 {
69     Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : "
70         ");
71     Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
72     conteudo.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ?
73         " 0" : " "));
74     conteudo.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX));
75 }
76 Serial.println();
77 Serial.print("Mensagem : ");
78 conteudo.toUpperCase();
79
80 if(WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
81     if(connectToServer()){
82         if(firstTimeEnterZone) {
83             sendToForm("Entrou+na+zona");
84             firstTimeEnterZone = false;
85         }
86         if (conteudo.substring(1)=="C7 25 31 5B"){
87             sendToForm("Caminh%C3%A3o+E");
88         }
89         if (conteudo.substring(1)=="ED 77 3E 5B"){
90             sendToForm("Caminh%C3%A3o+D");
91         }
92         if (conteudo.substring(1)=="62 4D 30 5B"){

```

```
91         sendToForm("Caminh%C3%A3o+C");
92     }
93     }else {
94         Serial.println("Erro ao se conectar ao servidor");
95     }
96 }else {
97     firstTimeEnterZone = true;
98     Serial.print("Connection Lost");
99     connectToWifi();
100 }
101 delay(1000);
102 }
```

APÊNDICE B – CÓDIGO-FONTE UTILIZADO PARA O MICROCONTROLADOR EMBARCADO NO CAMINHÃO BASCULANTE

Código-fonte 2 – Obtenção dos dados por C++

```
1  #include <ESP8266WiFi.h>
2  WiFiClientSecure client;
3  int sensorindutivo = D0;
4  bool firstTimeEnterZone = true;
5  bool isHigh = false;
6
7  void connectToWifi() {
8      WiFi.mode(WIFI_STA);
9      WiFi.begin("", "");
10     Serial.print("Trying to Connect...");
11     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
12     {
13         delay(500);
14         Serial.print(".");
15     }
16     Serial.println();
17     Serial.println("Connected");
18 }
19
20 void setup()
21 {
22     Serial.begin(115200); // Inicia a comunicacao serial
23     pinMode(sensorindutivo, INPUT);
24     connectToWifi();
25 }
26
27 bool connectToServer() {
28     return (client.connect("docs.google.com", 443) == 1);
```

```

29 }
30
31 void sendToForm(String toSend) {
32     String submitPath = "&submit=Submit HTTP/1.1";
33     client.println(formPath+toSend+submitPath);
34
35     client.println("Host: docs.google.com");
36     client.println();
37     client.stop();
38     Serial.println("Dados enviados.");
39 }
40 void loop()
41 {
42     if(WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
43         sendToForm("Na+zona");
44
45         if(connectToServer()){
46             if(firstTimeEnterZone) {
47                 sendToForm("Entrou+na+zona");
48                 firstTimeEnterZone = false;
49             }
50             if (digitalRead(sensorindutivo)==HIGH && isHigh==1)
51             {
52                 isHigh=0;
53                 sendToForm("In%C3%ADcio+de+Descarga");
54             } if (digitalRead(sensorindutivo)==LOW && isHigh
55             ==0) {
56                 isHigh=1;
57                 sendToForm("Fim+de+Descarga");
58             }
59         }else {
60             Serial.println("Erro ao se conectar ao servidor");

```

```
59     }  
60 }else {  
61     firstTimeEnterZone = true;  
62     Serial.print("Connection Lost");  
63     connectToWifi();  
64 }  
65 delay(1000);  
66 }
```