



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS
MESTRADO PROFISSIONAL

PROTOTIPAGEM DE SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO BASEADO EM SENSOR NANOESTRUTURADO INTEGRADO A IOT

Luís Gustavo Oliveira de Freitas

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Marcos Allan Leite dos Reis

Belém

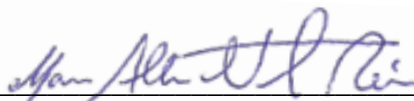
Junho de 2021

**PROTOTIPAGEM DE SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO BASEADO EM
SENSOR NANOESTRUTURADO INTEGRADO A IOT**

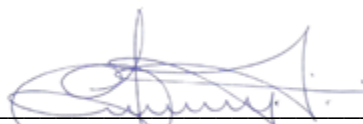
Luís Gustavo Oliveira de Freitas

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

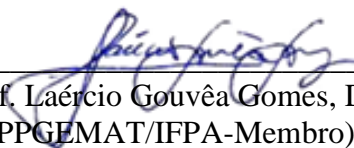
Examinada por:



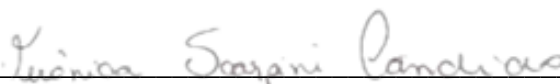
Prof. Marcos Allan Leite dos Reis, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



Prof. Eduardo de Magalhães Braga, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)



Prof. Laércio Gouvêa Gomes, Dr.
(PPGEMAT/UFPA-Membro)



Profa. Verônica Scarpini Candido, Dra.
(PPGCEM/UFPA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

JUNHO DE 2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Oliveira, Luis Gustavo de Freitas, 1993-
Prototipagem de sistema de alarme de incêndio baseado em
sensor nanoestruturado integrado a IOT / Luis Gustavo
Oliveira de Freitas - 2021.

Orientador: Marcos Allan Leite dos Reis

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Processos, 2021.

1. Nanotecnologia 2. IoT 3. Sensoriamento remoto
4. Sensores 5. Prototipação I. Título

CDD 670.42

*Dedico este trabalho a todos aqueles que
contribuíram para sua realização.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, a minha família que sempre me apoiou, ao meu pai especialmente por me ajudar e me inspirar sempre, ao meu orientador por me mostrar os caminhos e acreditar na ideia, ao ITEGAM e a Fundação MURAKI pela oportunidade dada.

*“A coisa mais importante que você pode
sempre fazer é seguir seus sonhos.”*

(Jimmy Owen Sullivan)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

PROTOTIPAGEM DE SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO BASEADO EM SENSOR NANOESTRUTURADO INTEGRADO A IOT

Luís Gustavo Oliveira de Freitas

Junho/2021

Orientador: Marcos Allan Leite dos Reis

Área de Concentração: Engenharia de Processos

A melhoria de sistemas de sensoriamento remoto para detecção de incêndios florestais ou em plantas industriais são fundamentais para o desenvolvimento da indústria 4.0, e vem se tornando cada vez mais importante para muitos países onde ocorrem incêndios florestais frequentemente. Portanto é necessário projetar e explorar um dispositivo que tenha uma rápida resposta, que tenha monitoramento remoto em tempo real e consiga gerar sinais de alerta que antecedam maiores incêndios em ambientes internos (indoor) e externos (outdoor), esse sensor nanoestruturado baseado em buckypaper que é constituído por filmes de nanotubos de carbono apresenta boas características térmicas possíveis de mensurar. Na prototipagem do sensor de alerta de incêndio foram realizados testes térmicos para avaliar a eficácia. Além disso, foi realizada sua integração com IoT (Internet of things) utilizando a arquitetura do NodeMCU juntamente com o protocolo MQTT (Message queuing telemetry transport), desta forma possibilitou o envio da mensagem de alerta até o usuário final através de uma aplicação Android. Os resultados mostraram que esse sensor nanoestruturado foi eficaz em distâncias de menos de 1 metro do foco de incêndio, como por exemplo a 20 cm gerou uma termovoltagem de 2,3 mV ao longo de 80 segundos com uma fonte de calor a 240°C. Este trabalho mostra todo o processo de desenvolvimento desse protótipo com monitoramento em tempo real com a função de emitir um alerta antecipado de incêndio.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

FIRE ALARM SYSTEM PROTOTYPING BASED ON IOT INTEGRATED NANOSTRUCTURED SENSOR

Luís Gustavo Oliveira de Freitas

June/2021

Advisor: Marcos Allan Leite dos Reis

Research Area: Process Engineering

The improvement of remote sensing systems for the detection of forest fires or industrial plants is fundamental to the development of industry 4.0, and it is becoming increasingly important for many countries where forest fires occur frequently. Therefore, it is necessary to design and explore a device that has a quick response, that has remote monitoring in real time and can generate warning signs that precede major fires in indoor (indoor) and outdoor (outdoor) environments, this nanostructured sensor based on buckypaper that it consists of carbon nanotube films and has thermal sensitivities that can be measured in short response times. In the prototyping of the fire alert sensor, thermal tests were carried out to evaluate the effectiveness. Furthermore, it was integrated with IoT (Internet of Things) using the NodeMCU architecture together with the MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protocol, thus enabling the sending of the alert message to the end user through an Android application. Preliminary results show that this nanostructured sensor can be effective at distances of less than 1 meter from the fire source, for example at 20 cm, generating a thermovoltage of 2.3 mV over 80 seconds with a heat source at 240 ° C. This work shows the entire development process of this prototype with real-time monitoring with the function of issuing an early fire alert.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	2
1.2 - OBJETIVOS.....	3
1.2.1 - Objetivo geral.....	3
1.2.2 - Objetivos específicos.....	3
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	4
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 - INCÊNDIO.....	5
2.2 - NANOTUBOS DE CARBONO.....	7
2.2.1 - Buckypaper.....	10
2.3 - EFEITO <i>SEEBECK</i>	11
2.4 - IOT (INTERNET OF THINGS).....	13
2.4.1 - Arquitetura IoT.....	14
2.4.2 - Message Queuing Telemetry Transport – MQTT.....	16
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1 - DESENVOLVIMENTO DO ELEMENTO SENSOR.....	19
3.2 - CARACTERIZAÇÃO DO ELEMENTO SENSOR, COMO SENSOR DE INCÊNDIO.....	20
3.3 - INTEGRAÇÃO IOT.....	23
3.4 - MONITORAMENTO EM TEMPO REAL.....	24
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	26
4.2 - CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA.....	27
4.3 - CARACTERIZAÇÃO TERMOELÉTRICA.....	28
4.4 - INTEGRAÇÃO IOT.....	39
4.5 - MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DO SISTEMA IOT.....	40
4.6 - ENCAPSULAMENTO DO PROTÓTIPO E CALIBRAÇÃO FINAL.....	43
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	49
5.1 - CONCLUSÕES.....	49
5.2 - SUGESTÕES.....	50

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXO I - ESQUEMÁTICO ELETRÔNICO DO PROJETO DE PCB.....	54
ANEXO II - PEDIDO DE PATENTE.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Sistema de IoT.....	2
Figura 2.1	Curva de evolução do incêndio celulósico.....	6
Figura 2.2	Representação (esquemática de diferentes alótropos de carbono: a) grafite; b) diamante; c) fulereno; d) nanotubo de carbono de parede simples; e) nanotubo de carbono de parede múltipla; f) grafeno.....	8
Figura 2.3	Processo de fabricação da BP por filtração a vácuo.....	10
Figura 2.4	Demonstrativo do efeito <i>Seebeck</i>	11
Figura 2.5	Arquitetura das seis camadas da IoT.....	14
Figura 2.6	Processo de IoT sensor nanoestruturado.....	16
Figura 2.7	Transmissão de mensagens através do MQTT.....	17
Figura 2.8	Cliente publicando mensagens no servidor com várias QoS.....	18
Figura 3.1	Fluxo dos procedimentos do trabalho.....	19
Figura 3.2	Design inicial do sensor nanoestruturado.....	20
Figura 3.3	Ilustração esquemática dos testes <i>Indoors</i>	21
Figura 3.4	Ilustração esquemática dos testes <i>Outdoors</i>	22
Figura 3.5	Circuito de integração, BP sendo utilizado como sensor.....	24
Figura 3.2	Esquematização do processo de validação de mensagens.....	25
Figura 4.1	Elemento sensor baseado em BP montado em baquelite.....	26
Figura 4.2	Micrografias do eletrodo BP, onde a vista superior mostra NTCPM's agregados (a) utilizada a ampliação de 20 mil vezes e a vista em seção transversal exhibe NTCPM's impregnados (b) utilizada a ampliação de 20 mil vezes.....	27
Figura 4.3	Histograma de porosidade do <i>buckypaper</i>	28
Figura 4.4	Teste termelétrico <i>Indoor</i> utilizando uma lâmpada infravermelha PAR38.....	29
Figura 4.5	Gráfico de tensão(mV) em relação ao tempo(segundos) - Teste <i>Indoor</i>	30
Figura 4.6	Gráfico de corrente (μ A) em relação a tensão(mV) - Teste <i>Indoor</i>	31
Figura 4.7	Teste termelétrico <i>Outdoor</i> utilizando uma lata de alumínio	32

	como fonte de calor.....	
Figura 4.8	Gráfico da tensão(mV) em relação ao tempo(segundos) - Teste <i>Outdoor</i>	33
Figura 4.9	Gráfico da Corrente(μ A) em relação a tensão(mV) - Teste <i>Outdoor</i>	34
Figura 4.10	Gráfico da tensão(mV) em relação ao tempo(segundos) – Comparativo para 20cm.....	35
Figura 4.11	Gráfico da temperatura no BP(K) em relação à tensão gerada (mV) – Comparativo para 20 cm.....	36
Figura 4.12	Gráfico da tensão(mV) em relação ao tempo(segundos) – Comparativo para 50 cm.....	37
Figura 4.13	Gráfico da temperatura no BP(K) em relação à tensão gerada(mV) – Comparativo para 50 cm.....	38
Figura 4.14	Projeto de PCB, para integração IoT do BP.....	39
Figura 4.15	Conceito final protótipo de monitoramento remoto.....	40
Figura 4.16	Aplicativo MYMQTT, tela de configuração (a), tela inicial (b), tela de recebimento de mensagens do protótipo (c) e tela de inscrição do tópico(d).....	42
Figura 4.17	Design interno do case (a) e case montado encapsulando o dispositivo (b).....	44
Figura 4.18	Calibração Final do protótipo, valor em bits (1) e termovoltagem (mV).....	46
Figura 4.19	Novo Configuração de Monitoramento, Status atual do protótipo (a), envio para o tópico de recebimento do protótipo (b) e alteração do status após o recebimento da mensagem (c)...	47
Figura 4.20	Recebimento de mensagens do usuário no tópico (envio) após um possível incêndio.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Teste de incêndio container.....	7
Tabela 4.1	Características termelétricas - Teste <i>indoor</i>	32
Tabela 4.2	Características termelétricas - Teste <i>outdoor</i>	34
Tabela 4.3	Descrição dos tópicos de monitoramento.....	41
Tabela 4.4	Características Ganho x BIT/uV.....	45

NOMENCLATURA

ADC	CONVERSOR ANALÓGICO DIGITAL
BP	BUCKYPAPER
CBMDF	CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
ESD	ELECTROSTATIC DISCHARGE
I2C	INTER INTEGRATED CIRCUIT
ID	IDENTIFICADOR
IDE	INTERFACE DE DESENVOLVIMENTO
IOT	INTERNET OF THINGS
ISO	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
LORA	LONG RANGE
MEV	MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA
MQTT	MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT
NBR	NORMA BRASILEIRA
NTC	NANOTUBOS DE CARBONO
NTCPM	NANOTUBOS DE CABORNO DE MULTIPLAS PAREDES
PCB	PRINTED CIRCUIT BOARD
QOS	QUALITY OF SERVICE
RFID	RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION
WIFI	WIRELESS FIDELITY

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia vem despertando muito interesse nas comunidades científicas, e principalmente ao longo das últimas décadas muitos esforços foram feitos no sentido de atingir o tão desejado controle em nível atômico e molecular sobre os processos industriais. Com o surgimento dos materiais nanométricos, e em função deles, novas técnicas de caracterização foram projetadas e implementadas. Um dos frutos desse interesse pelo domínio das pequenas dimensões foi a obtenção inesperada dos nanotubos de carbono (NTC's) sintetizados pela primeira vez em 1991 por Iijima, usando o processo de pirólise de grafite em plasma sob atmosfera controlada de hélio. (HERBST, 2004).

Segundo ZARBIN (2013), as aplicações estão em várias áreas: Compósitos, Energia, Sensores, Biosensores, eletrônica etc. Na área de compósitos, se destaca na parte de materiais poliméricos sendo umas das áreas de maior atuação dos nanotubos de carbono. Na área de energia, a nanotecnologia tem aplicações no armazenamento e na transmissão de energia elétrica, e na eletrônica, ele já apresenta aplicações como a capacidade de dissipar calor em circuitos eletrônicos, substituir os transistores atuais de silício pela sua alta performance, e alta pureza entre outras características eletrônicas. Nas áreas de sensores, se destaca por apresentar variações de acordo com: a temperatura, propriedade óticas, piezo eletricidade, entre outras.

No âmbito do sensoriamento remoto destacamos suas aplicações na indústria 4.0, visto que os NTC's têm propriedades térmicas variáveis, se torna viável uma aplicação deste como sensor de alerta monitorado via IoT (*Internet of Things*), utilizando essas propriedades térmicas para fundamentar um sensor de alerta de incêndio em ambiente *indoor* (área industriais) ou *outdoor* (florestais). Segundo U FAROOQ, M. *et al.* (2015) a *internet* das coisas está constantemente evoluindo e é um tópico de pesquisa que está em alta, onde as oportunidades são infinitas, que vão desde: monitoramento de automóveis, objetos, animais e até status de máquinas de uma linha de produção. As imaginações são ilimitadas que a colocam uma proposta de reformular a forma atual da *Internet* em uma versão modificada e integrada. O número de dispositivos que utilizam serviços de *Internet* é aumentando a cada dia e tendo todos eles conectados por fio ou wireless.). A Internet das Coisas (do inglês Internet of

Things, IoT), é uma infraestrutura de comunicação que permite conectar o mundo real e o virtual, criando um mundo” mais inteligente nos diversos segmentos da sociedade moderna. (COLOMBO, 2018).

Nos sistemas de IoT, a primeira parte é a do sensoriamento, a através do elemento sensor vai ser adquiridas as informações. Processadas as informações do sensor são enviados para um servidor *gateway* (é uma máquina intermediária geralmente destinada a interligar redes) através de placas próprias para desenvolvimento IoT. O *gateway* faz o intermédio do da placa IoT e do servidor (*Broker*), onde através do servidor as mensagens são tratadas e enviadas para o dispositivo final como: celulares, computadores e tablets. Permitindo assim monitoramento em tempo real do elemento sensor. A Figura 1.1 mostra um sistema típico de IoT.

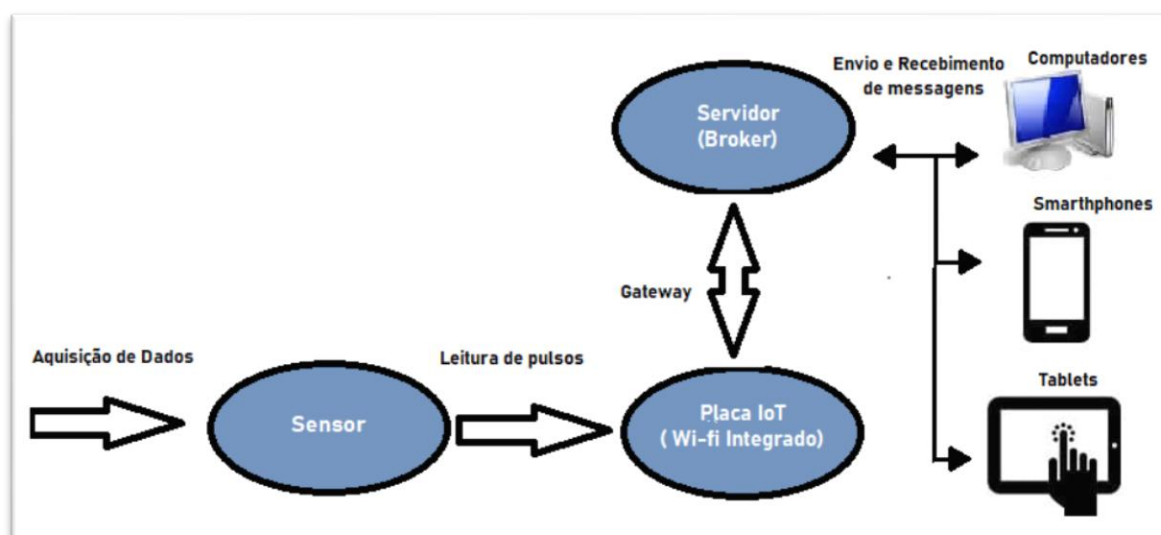


Figura 1.1 - Sistema de IoT.

Dependendo do servidor de mensagens (*Broker*), o usuário final pode além de receber mensagens de monitoramento do sensor, enviar mensagens para a placa onde essas pode ser utilizada para diversos fins como: mudança de parâmetros, ativação de alguma funcionalidade extra etc.

1.1 - MOTIVAÇÃO

Quando um incêndio oferece um risco não controlado em ambientes *indoor* e *outdoor*, como plantas industriais e regiões de mata respectivamente, deve-se rever as condições de segurança, em áreas florestais esse risco pode acontecer devido as causas

naturais ou causas imprudentes do homem, de acordo com CANZIAN (2020) de 2008 a 2017, foram registradas 32.561 ocorrências de incêndios. Dentre as principais causas, os incêndios criminosos prevaleceram com 91,40%, seguido por queimadas para limpeza (7,84%), diversos (0,53%), fumantes (0,16%) e operações florestais (0,07%). Em ambos os cenários os danos causados são imensuráveis, um sensor de alarme de incêndio além de monitorar esses possíveis sinistros poderá mandar informações via IoT para agir nesses cenários e evitar os danos que podem ser causados.

Segundo TRINDADE (2009), o principal fator que permite que um fogo se transforme num incêndio com proporções desmesuráveis é o tempo. Uma expressão frequentemente utilizada diz que para apagar um fogo é necessário “um copo de água no primeiro minuto, um balde de água no segundo minuto e uma tonelada de água no terceiro minuto”. Depois disto a situação passa a ser mais difícil de controlar.

A possibilidade de desenvolver um sensor que realize um monitoramento rápido de um princípio de incêndio com informações da temperatura do ambiente, e alertando em caso de incêndio pela variação brusca de temperatura, além de ter a capacidade de enviar um sinal para uma central de bombeiros ou para a brigada de incêndio da empresa e, desta forma, alertando antecipadamente o possível incêndio, foi uma das motivações do desenvolvimento deste trabalho. O sensor nanoestruturado se apresenta uma possível aplicação para este fim, destacando que tem baixo custo e pode ser produzido em larga escala além de contribuir com o desenvolvimento tecnológico da região.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Prototipar sensor nanoestruturado baseado em *buckypaper*, que tenha monitoramento remoto via IoT.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Desenvolver um elemento sensor utilizando o conceito do efeito *Seebeck* entre os NTC's e o cobre da placa;

- Avaliar o desempenho termoelétrico do elemento sensor quando exposto a altas temperaturas;
- Prototipar um sensor de alerta de incêndio baseado no elemento sensor, usando a termovoltagem como parâmetro de detecção;
- Tornar o protótipo um sensor que possa ser monitorado remotamente;
- Monitorar o status do protótipo em tempo real através de uma aplicação.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Esperamos contribuir com este trabalho em:

- Inovação utilizando a nanotecnologia para desenvolver um novo sensor;
- Utilização de nanomateriais para desenvolvimento de sensores que possam ter monitoramento remoto;
- Integração da nanotecnologia com os conceitos de IoT.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta uma breve introdução, a motivação, os objetivos, as contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre Incêndios e suas principais causas e fases, conceituação e aplicação dos NTC's e *buckypapers*, conceitos sobre efeito *seebeck* e IoT e sua arquitetura, e sobre o protocolo MQTT.

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos utilizados para desenvolvimento do protótipo, desde a criação do primeiro conceito após a caracterização morfológica, até a sua integração IoT para sensoriamento remoto.

O capítulo 4 discorre sobre os resultados obtidos do protótipo, e seu monitoramento. Também se apresenta gráficos, figuras e tabelas representativas dos principais resultados.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - INCÊNDIO

Segundo SEITO *et al.* (2008) autor do livro Segurança Contra Incêndio no Brasil, fornece algumas definições para incêndio. Pela própria NBR 13860:1997, tem-se que: “incêndio é o fogo fora de controle”. Pela Internacional ISO 8421-1:1987, tem-se que: “incêndio é a combustão rápida disseminando-se de forma descontrolada no tempo e espaço”. Durante um incêndio são produzidas substâncias altamente prejudiciais à saúde humana como: gases, chamas, calor e fumaça. Essas substâncias podem provocar queimaduras, irritação nos olhos e lesões ao aparelho respiratório decorrente dos gases liberados (monóxido de carbono, amoníaco etc.).

Segundo FERIGOLO (1977 *apud* GOMES, 2014) as principais causas de incêndio são:

- Causas naturais: não dependem da vontade do homem. Exemplos: raios, vulcões, terremotos, calor solar, combustão espontânea etc.
- Causas acidentais: muito variáveis. Exemplos: chamas expostas, eletricidade, balões, ratos etc.
- Causas criminosas: fraudes para receber seguros, queima de arquivo, inveja, crimes passionais, piromania etc.

O incêndio inicia-se bem pequeno e seu crescimento dependerá dos materiais disponíveis e sua distribuição no ambiente. Há certo padrão de evolução de incêndio, como visto na Figura 2.1.

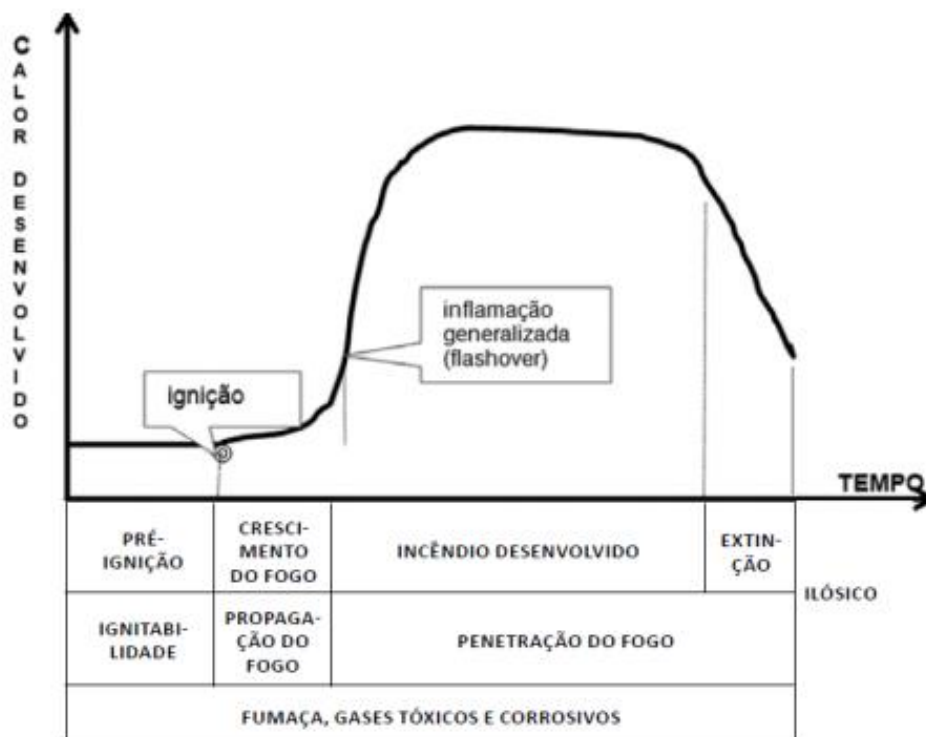


Figura 2.1 - Curva de evolução do incêndio celulósico.
 Fonte: SEITO *et al.* (2008).

Três fases distintas podem ser identificadas no gráfico: a primeira fase é o incêndio incipiente, tendo-se um crescimento lento, em geral de duração entre cinco e vinte minutos até a ignição, em que inicia a segunda fase, caracterizada pelas chamas que começam a crescer aquecendo o ambiente normalmente essa fase dura de cinco a quinze minutos, e é o tempo limite para se agir. O sistema de detecção de fumaça e alarme deve operar na primeira fase e o combate a incêndio e consequente extinção tem grande probabilidade de sucesso. Quando a temperatura do ambiente atinge em torno de 600 °C a esta temperatura, estruturas de aço comumente usadas na construção civil começam a perder sua resistência, tendo início os riscos de desabamento, o que ocorre rapidamente, todo o ambiente é tomado por gases, vapores combustíveis e fumaça desenvolvidos na pirólise dos combustíveis sólidos. Havendo líquidos combustíveis, eles irão contribuir com seus vapores e ocorrerá a inflamação generalizada (*flashover*) e o ambiente será tomado por grandes labaredas. Caso o incêndio seja combatido antes dessa fase haverá grande probabilidade de sucesso na sua extinção. A terceira fase é caracterizada pela diminuição gradual da temperatura do ambiente e das chamas, o que ocorre por exaurir o material combustível (SEITO *et al.*, 2008).

O CBMDF (Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal), fez um teste de incêndio em um container em março de 2009 com duração de aproximadamente 49 minutos e 55 segundos, onde foram afixados quatro pontos de medição no centro do container com a seguinte variação de altura: 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 m. Em relação à altura de colocação e à temperatura máxima e mínima montou-se a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Teste de incêndio container.

	<i>TEMP. AMBIENTE</i> (°C)	<i>0,5 m</i>	<i>1,0 m</i>	<i>1,5 m</i>	<i>2,0 m</i>
<i>TEMP. MIN (°C)</i>	22,00°C	19,72 °C	24,14 °C	25,88 °C	26,7 °C
<i>TEMP. MÁX (°C)</i>	29,40°C	284,29 °C	456,46 °C	666,54 °C	842,67 °C

Fonte: CBMDF, (2009).

A maior temperatura registrada foi na altura de 2,0 m chegando a 842 °C, a menor foi de 284,3 °C na altura de 0,5 m, um bombeiro entrando nesse local estará sujeito a cerca de 850 °C na região da cabeça, 670 °C na região do peito e nos membros inferiores cerca de 300 °C.

Os incêndios florestais são bastante frequentes no Brasil, segundo CANZIAN (2020) um dos acontecimentos com maior potencial de danos às florestas são os incêndios florestais, pois sua ocorrência resulta em impactos sociais, ambientais e econômicos. Especificamente em florestas de produção, os danos econômicos causados pelos incêndios florestais são diretos e podem refletir no planejamento da área afetada por um período de até um ciclo produtivo.

Em um estudo feito por CANZIAN (2020), estima-se que no período de 2008 a 2017, a média anual de ocorrências de incêndios florestais foi de 3.256 em aproximadamente 220 mil ha (hectares), o que corresponde a 8,92 ocorrências de incêndios por dia e uma área média queimada de 2,39 ha por ocorrência.

2.2 - NANOTUBOS DE CARBONO

O termo "nanotubo de carbono" corresponde, na verdade, a uma grande família de nanomateriais com características diferentes entre si, formados a partir do enrolamento de uma ou mais folhas de grafeno a partir do seu próprio eixo, formando estruturas cilíndricas (tubulares) com diâmetros na faixa dos nanômetros (NTC's), e

comprimentos que variam de alguns micrometros até vários centímetros. Em um primeiro momento, os nanotubos podem ser separados em três grupos: os nanotubos de carbono de paredes simples, no qual uma única folha de grafeno é responsável pela sua estrutura, os nanotubos de paredes duplas onde as folhas de grafeno das estruturas são duplas, e os nanotubos de carbono de paredes múltiplas (NTCPM's), onde várias folhas de grafeno se enrolam de forma concêntrica, como um tubo coaxial, separadas entre si por uma distância muito parecida com aquela observada entre as folhas de grafeno no grafite.(ZARBIN, 2013).

A Figura 2.2 mostra a representação esquemática, onde os NTC's pode ser visualizado e idealizado a partir do enrolamento de uma folha de grafeno, além dos NTCPM's mostrado na Figura 2.2e.

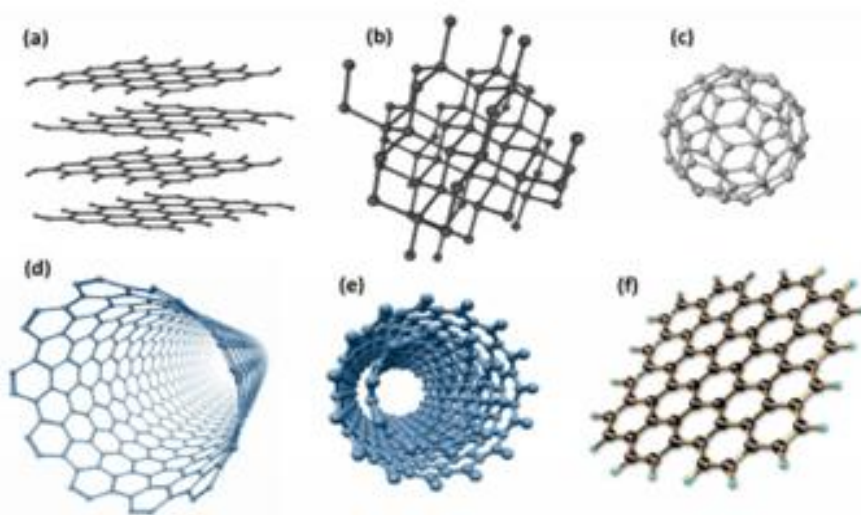


Figura 2.2 - Representação (esquemática de diferentes alótropos de carbono: a) grafite; b) diamante; c) fulereno; d) nanotubo de carbono de parede simples; e) nanotubo de carbono de parede múltipla; f) grafeno.

Fonte :ZAARBIN (2013).

De acordo com ZARBIN (2013) as áreas que se destacam são as seguintes:

- Compósitos: sem dúvida a maior possibilidade de aplicação dos nanotubos de carbono está na área de materiais compósitos, principalmente com polímeros;
- Energia: nanotubos de carbono vêm sendo utilizados em diversos aspectos relacionados ao armazenamento, conversão e transmissão de energia elétrica;
- Sensores e Biosensores: por ter suas propriedades fortemente dependentes do ambiente, nanotubos de carbono vêm sendo utilizados como sensores extremamente sensíveis aos mais diversos analitos, incluindo biomoléculas.

Variações na condutividade, fluorescência, propriedades óticas, impedância, piezo eletricidade, mudanças espectroscópicas, dentre outras;

- Eletrônica: nanotubos de carbono, são candidatos ideais para transistores com performances superiores aos encontrados para dispositivos baseados em silício, devido a sua alta pureza e outras propriedades elétricas, também são candidatos a substituir o cobre em conexões em placas e dispositivos em microeletrônica, diminuindo as perdas e aumentando a capacidade de corrente. Nanotubos também estão associados como materiais para dissipar calor em circuitos eletrônicos.
- Filmes finos: uma das aplicações mais divulgadas nos últimos anos para nanotubos de carbono é sua utilização em *touch screens*, LED's e OLED's, células solares flexíveis, entre outros. Além de filmes para recobrimento e proteção anti-corrosão também encontram forte apelo de aplicação para estes materiais;
- Meio ambiente: diversas aplicações de nanotubos de carbono em processos de purificação e descontaminação de águas (filtros e membranas), ou como eletro-catalisador para oxidação de contaminantes vêm sendo reportados;
- Catálise: nanotubos de carbono e grafeno são materiais ideais para suporte de catalisadores (óxidos, metálicos ou mesmo moleculares), várias reações são também catalisadas pelo próprio nanotubo.

Essas propriedades eletrônicas e elétricas dos NTC's, tem se destacado e cada vez mais vem chamado a atenção de indústrias para diversas aplicações como: sensores, baterias, dissipadores de calor, e componentes eletrônicos.

Os NTC's têm propriedades de alta absorção térmica, segundo PANDEY (2012) a condutividade térmica dos nanocompósitos baseados em NTC's é a melhor apresentada quando comparada a outros polímeros termofixos e termoplásticos, chegando a 0,44 W/mK onde a condutividade térmica usual desses polímeros é de 0,11W/mK.

Os NTCPM's quando incorporados em termocélulas e eletrodos podem ser usados como *buckypapers* e assim como elementos sensores, de acordo com HU (2010) *buckypapers* de NTCPM's são materiais de eletrodo eficientes para termocélulas porque eles oferecem uma reação rápida, com melhorias em design de célula e otimização de

propriedades NTCPM's e estrutura do eletrodo, a eficiência da termocélula provavelmente aumentará.

2.2.1 - Buckypaper

Um filme agregado de NTC's é chamado de *Buckypaper* (BP), onde esses pode ser fabricado a partir de NTC's de paredes simples e de NTCPM's. O BP é feito por um processo de filtração que é análogo ao usado para fazer papel comum, segundo HU (2010) o desempenho de NTCPM's agregados no BP como eletrodos termocelulares substituem os convencionais materiais de eletrodo.

Algumas aplicações dos *buckypapers* na nanotecnologia:

- Processos Redox: Segundo HU (2010) células termoeletróquímicas com base em BP de eletrodos NTCPM's foi usado em processos redox por causa de sua alta condutividade elétrica e sua área superficial;
- Absorção de Calor: Segundo PINHEIRO *et al.* (2019) o dispositivo termoelétrico foi baseado no eletrodo BP como lado quente e cobre como frio, impregnados com fibras de celulose que atuam como absorvedores de calor residual.

A Figura 2.3 mostra um processo de fabricação de BP onde segundo PINHEIRO *et al.* (2019) NTCPM's funcionalizados com uma pureza de 99,80% são dispersos em álcool isopropílico (1,0 g / L) sob 40 kHz por 60 minutos em temperatura ambiente. Depois disso, o álcool foi removido por filtração usando papel de filtro (gramagem de 80 g / m², diâmetro de 18,5 cm e tamanho de poro de 14 μm) e balão kitasato sob vácuo.



Figura 2.3 - Processo de fabricação da BP por filtração a vácuo.
Fonte :Adaptado de PINHEIRO *et al.* (2019).

2.3 - EFEITO *SEEBECK*

No ano de 1821 foi descoberto o efeito *Seebeck* por Thomas Seebeck, foi uma descoberta acidental onde ele verificou que dois condutores de materiais metálicos diferentes unidos em suas pontas e com uma diferença de temperatura ente eles, fazia que uma agulha que estava entre eles fosse deslocada. Thomas Seebeck só publicou seus resultados entre os anos 1822 e 1823 afirmando que condutores/semicondutores diferentes produzem uma tensão quando estão com as extremidades unidas e submetidos a um gradiente de temperatura. (ANDO JUNIOR, 2014).

O efeito *Seebeck* ocorre quando é aplicado uma diferença de temperatura entre a extremidades de dois condutores distintos, provocando o movimento de elétrons para a região com menor nível de energia e aumentando a concentração de íons positivos para a outra região.

A Figura 2.4.a mostra uma carga sendo alimentada através do efeito *Seebeck* onde a diferença de temperatura dos condutores gera uma energia térmica, na Figura 2.4b mostra um arranjo de vários condutores ligados em série em cima de uma placa cerâmica afim de produzir mais calor, e assim gerar mais energia.

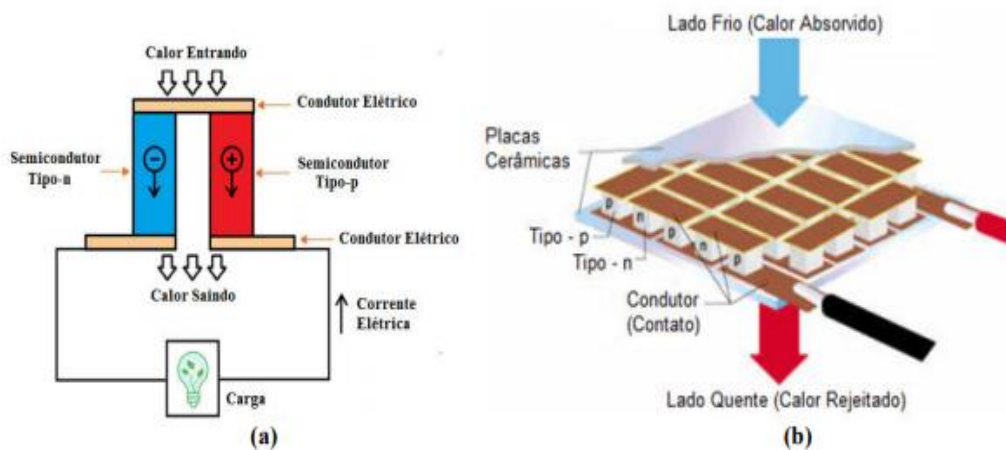


Figura 2.4 - Demonstrativo do efeito *Seebeck*.
Fonte :ANDO JUNIOR (2014).

A eficiência da geração de energia térmica através do efeito *Seebeck* é dada pelo coeficiente de *Seebeck* (α), que é igual a tensão produzida entre dois pontos de um condutor, em circuito aberto, quando a junção bimetálica é submetida a um gradiente de temperatura ΔT de kelvin, e é determinada pela taxa de espalhamento e a densidade dos

elétrons de condução sendo definido como a relação entre a tensão elétrica (1) gerada para a diferença de temperatura. (ANDO JUNIOR, 2014).

$$\Delta V = \alpha(T1 - T2) [V] \quad (2.1)$$

Onde:

α é o coeficiente de *Seebeck*;

$T1$ e $T2$ são as temperaturas em que o material está submetido [K].

ΔV é a termovoltagem obtida da variação de temperatura [V].

A partir de (1) temos a relação que define o coeficiente de *Seebeck* (2).

$$\alpha = \Delta V / \Delta T [V/K] \quad (2.2)$$

As aplicações do efeito termelétrico através do efeito *Seebeck* podem ser várias como: bebedouro elétrico, termômetros, pilhas atômicas, mini geladeiras e ultra resfriamento. Esses efeitos termoelétricos, apesar de reversíveis, são invariavelmente acompanhados de efeitos irreversíveis associados à resistência elétrica e à condução térmica (GOLDSMID, 2017).

Algumas aplicações do efeito *Seebeck* em nanomateriais e dispositivos baseados em NTC's se destacam, como o de HU (2010) células termoeletróquímicas com base em BP de eletrodos NTCPM's que foi usado em processos redox, em que o coeficiente de *Seebeck* do seu estudo corresponde a 1,4 mV/K. Em outro estudo de PINHEIRO *et al.* (2019) o efeito *Seebeck* é aplicado sobre o eletrodo BP como lado quente e eletrodo de cobre como lado frio, sob uma variação de temperatura medida de 298 K a 304 K, obtendo resultados do coeficiente de *Seebeck* médio total de $35,34 \pm 6,0$ mV/K, ainda destaca que com estes resultados este pode ser aplicado em novos conceitos de dispositivos termoelétricos, como sensores de incêndio ou termocélulas de baixo custo.

Ainda no estudo de PINHEIRO *et al.* (2019) a termo célula baseada em BP, obteve resultados competitivos quando comparados com os materiais usuais aplicados como absorvedores do calor residual, como por exemplo: o módulo termelétrico comercial TEP1-1264-1.5 que foi projetado para converter o calor diretamente em eletricidade, este modulo é baseado em Bi-Te que apresenta uma termovoltagem média de 68,4 mV e uma coeficiente de *Seebeck* médio de 0,57 mV/K, quando que no estudo os valores são de 79 mV de termovoltagem e a coeficiente de *Seebeck* de 26,33 mV/K.

O presente estudo utiliza o efeito *Seebeck* como base, onde usa a diferença de temperatura do BP e o Cobre da placa de fenolite para gerar energia térmica, usando o calor para detecção de um possível incêndio.

2.4 - IOT (INTERNET OF THINGS)

A *internet* das coisas ou IoT, já é um avanço na tecnologia e vem se destacando devido a sua versatilidade e possibilidades de aplicações em vários ramos, principalmente na indústria. Segundo LEE (2015) a IoT, é uma nova tecnologia paradigma concebida como uma rede global de máquinas e dispositivos capazes de interagir com cada de outros, e já é reconhecida como um dos mais importantes áreas do futuro da tecnologia, o verdadeiro valor da IoT para as empresas podem ser totalmente percebido quando dispositivos conectados são capazes de se comunicar e se integrar com sistemas de inventário gerenciado pelo fornecedor, sistemas de suporte ao cliente, aplicativos de inteligência de negócios e análise de negócios.

A adesão a essa tecnologia está se tornando cada vez mais competitiva, assim pressionando as empresas a inovar e transformar, o custo-benefício da tecnologia destaca o interesse das empresas, ainda que o investimento inicial em certos casos seja alto, cabendo a cada empresa avaliar o cenário e os pacotes ofertados.

Alguns exemplos de sistemas de IoT para monitoramento de Incêndio é o de LAZARESCU (2015 *apud* ALBUQUERQUE, 2020) onde ele discute detalhes relevantes do projeto e o resultado da simulação e dos testes em campo de uma plataforma de IoT de baixo custo para monitoramento de incêndios florestais. Ainda que os testes de campo foram executados em uma área relativamente reduzida (195m x 45m), o trabalho mostrou os desafios em termos de robustez, custos e necessidade de manutenção devido a exposição a condições climáticas, ao tamanho da rede que aumenta a probabilidade de falhas, a presença de animais etc.

O estudo de ALBUQUERQUE (2020), sugere um protótipo de sistema IoT de baixo custo para detecção de incêndio que é composto por uma rede de sensores sem fio e um sistema Web para monitoramento, são utilizados sensores de temperatura e umidade, sensor de gás monóxido de carbono, sensor de gases inflamáveis e fumaça e um sensor de chama. OS resultados obtidos tiveram um alcance máximo de 500 metros do posicionamento da central para a rede de sensoriamento, os testes foram feitos nos laboratórios da instituição(*indoor*) e em um parque estadual (*outdoor*).

2.4.1 - Arquitetura IoT

Para a melhor implantação de um sistema IoT, já existem produtos e serviços próprios para essa tecnologia, e assim as camadas de uma arquitetura IoT para pleno funcionamento do sistema, o número de camadas pode variar dependendo da interpretação ou complexidade do sistema.

Segundo MADAKAM e LAKE (2015) para um maior desenvolvimento da IoT, são propostas várias arquiteturas de segurança em várias camadas, mas geralmente é dividido em seis camadas, como mostra a Figura 2.5.

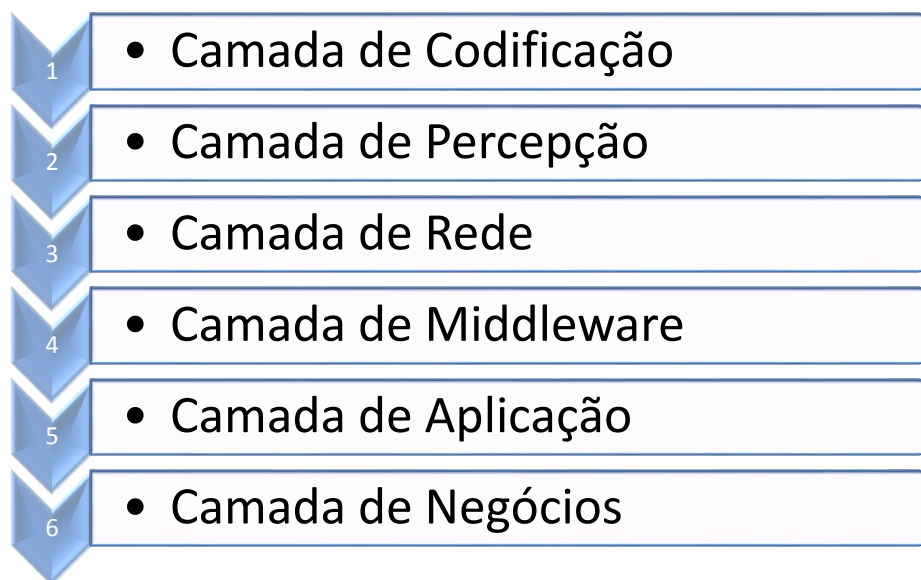


Figura 2.5 - Arquitetura das seis camadas da IoT.
Fonte: Adaptado de MADAKAM e LAKE (2015).

- Camada de codificação: A camada de codificação é a base da IoT que fornece identificação para os objetos de interesse. Nesta camada, cada objeto recebe um ID (identificador) exclusivo, o que facilita o discernimento dos objetos;
- Camada de Percepção: Também pode ser conhecida como camada de sensoriamento, consiste em sensoriamento de dados como: sensores de temperatura, etiquetas RFID, sensores de presença, velocidade etc. Essa camada reúne as informações úteis dos sensores e converte em sinais digitais que são jogadas e tratadas na camada de rede;
- Camada de Rede: essa camada recebe as informações dos sinais digitais enviados pelo sensoriamento, e transmite essa para os sistemas de processamento na camada de *Middleware* através dos meios de transmissão

como WIFI, *bluetooth*, GSM, 3G etc. Utilizando os protocolos de comunicação como MQTT;

- Camada *Middleware*: Essa camada processa as informações recebidas do sensoriamento, utilizando tecnologias como computação em nuvem, computação ubíqua que garante um acesso direto ao banco de dados para armazenar todas as informações necessárias nele;
- Camada de Aplicação: Essa camada realiza os aplicativos da IoT para todos os tipos de indústria, com base nos dados processados. Como os aplicativos promovem o desenvolvimento da IoT, essa camada é muito útil no desenvolvimento em larga escala da rede IoT. Destacando as aplicações mobile e multiplataforma;
- Camada de Negócios: Essa camada gerencia os aplicativos e serviços da IoT e é responsável por todas as pesquisas relacionadas à IoT, gerando diferentes modelos de negócios para estratégias de negócios eficazes.

Nesse estudo a aplicação a ser desenvolvida utilizara as cinco primeiras camadas, onde na primeira camada (Codificação) se usará um endereçamento para o elemento sensor baseado em BP a ser validado, na segunda camada (Percepção) o sensor será utilizado para monitorar o ambiente alertando em casos de variações bruscas de temperatura ambiente, que é resultado de um possível incêndio. Na terceira camada (Rede) será utilizado uma placa própria para desenvolvimento IoT o NODEMCU, onde ela vai receber as informações dos dados enviados pelo NTC e via protocolo MQTT vai mandar as informações em tempo real para o *Broker* MQTT. A quarta camada (*Middleware*) vai processar as informações enviadas do NODEMCU e publicar os dados para o cliente, e a última camada será feito um aplicativo *mobile* para aplicação de recebimento dos dados do *Broker* MQTT. A Figura 2.6 mostra a Arquitetura IoT a ser desenvolvida.

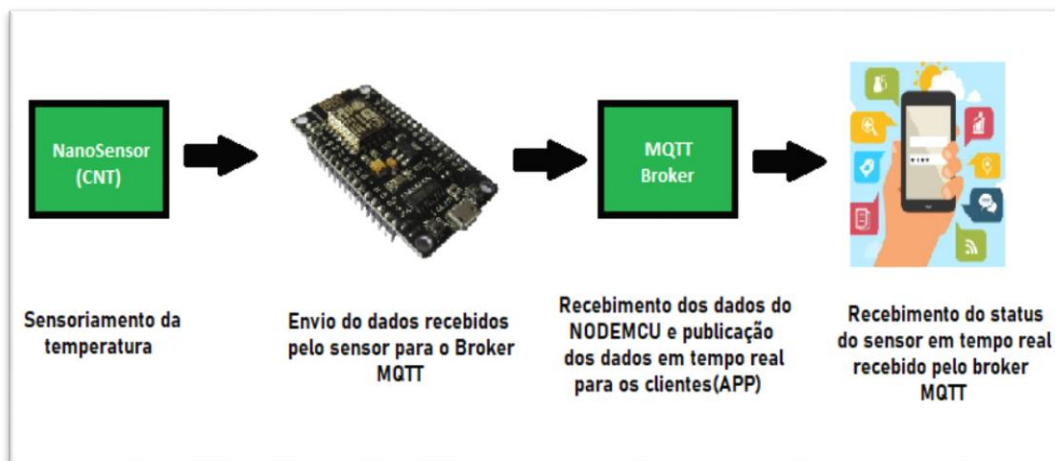


Figura 2.6 - Processo de IoT sensor nanoestruturado.

2.4.2 - Message Queuing Telemetry Transport - MQTT

Segundo KODALI (2016), o MQTT é um protocolo baseado em publicação e assinatura, qualquer conexão MQTT geralmente envolve dois tipos de agentes: clientes MQTT e *broker* público MQTT ou servidor MQTT. Os dados que estão sendo transportados pelo MQTT são referidos como mensagem do aplicativo. Qualquer dispositivo ou programa que esteja conectado à rede e troque mensagens de aplicativos por meio do MQTT é chamado como um cliente MQTT. O protocolo MQTT é muito simples, pacotes com tamanhos pequenos e leve protocolo de transmissão projetado para equipamentos com usos restritos, baixa largura de banda, alta latência ou redes não confiáveis. (LIU *et al.*,2020).

Quando um dispositivo deseja receber informações ele deve se tornar um assinante (*subscriber*). Para enviar informações ele deve publicá-las se tornando um publicador (*publisher*). A Figura 2.7 mostra um exemplo de transmissão de mensagens via MQTT.

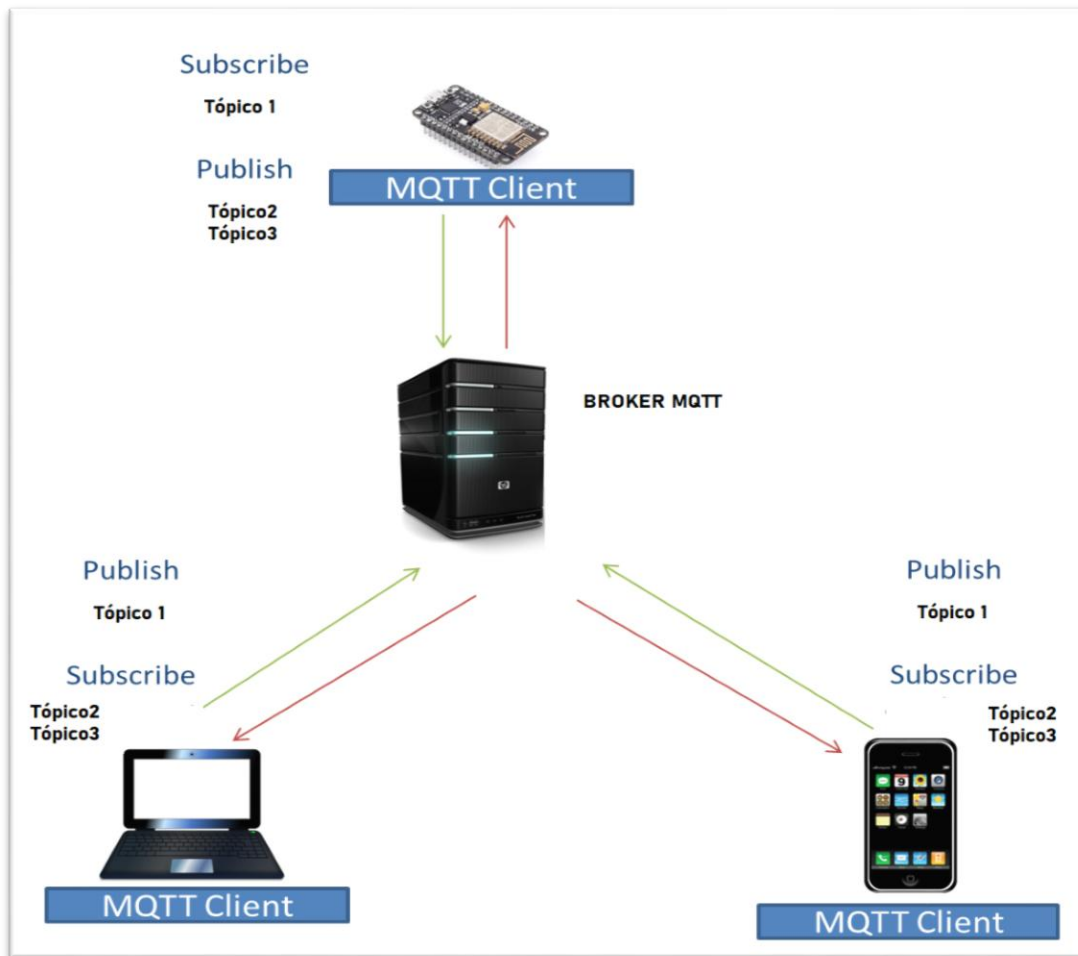


Figura 2.7 - Transmissão de mensagens através do MQTT.
 Fonte :Adaptado de KODALI (2016).

O MQTT adota uma arquitetura cliente-servidor e executa mensagem transmissão com base na assinatura do tópico / publicação de mensagens. Clientes podem atuar como editores e receptores de mensagens, os clientes recebem mensagens de outros clientes, inscrevendo-se em tópicos de interesse do servidor. (YOUN,2017).

Com relação à segurança dos dados, o MQTT provê três níveis de *Quality of Service* (QoS), sendo este responsável por gerenciar a qualidade do tráfego de dados na rede. A escolha entre níveis depende da necessidade de cada aplicação. O nível 0 é o mais simples, e o nível 1 é o intermediário, e o nível 2 é o mais completo.

A Figura 2.8 mostra os níveis de QoS, onde o nível 0 não recebe nenhuma confirmação pelo pacote publicado, no nível 1 o servidor reconhece o pacote publicado com o PUBACK, e colocando um identificador no pacote. quatro pacotes são trocados. O servidor confirma o recebimento do pacote PUBLISH com o pacote PUBREC.

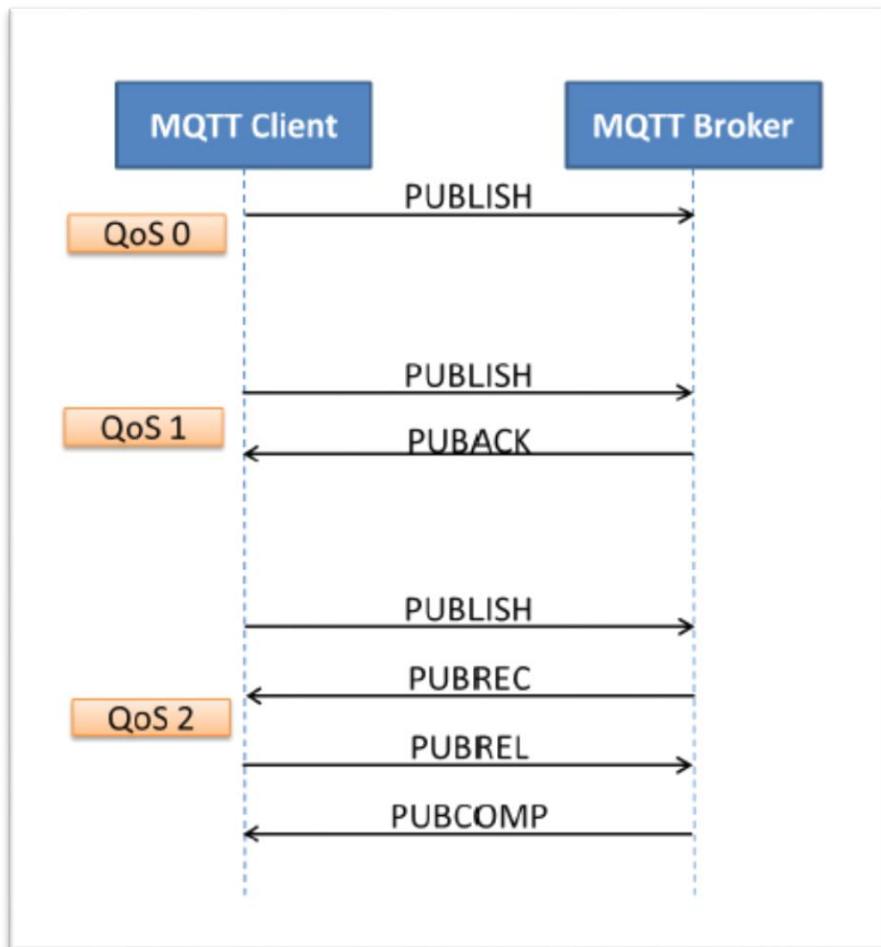


Figura 2.8 - Cliente publicando mensagens no servidor com várias QoS.
Fonte: KODALI (2016).

O cliente MQTT envia um pacote para liberar a publicação com um pacote **PUBREL**. O servidor envia o quarto pacote **PUBCOMP**, indicando a conclusão da publicação da mensagem do aplicativo no tópico especificado. (KODALI, 2016).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os procedimentos descritos na sequência mostrada na Figura 3.1, com o propósito de aplicar os NTC's como sensor de alerta de incêndio, a fim de integrá-lo via IoT, para amplo monitoramento.



Figura 3.1 - Fluxo dos procedimentos do trabalho.

3.1 - DESENVOLVIMENTO DO ELEMENTO SENSOR

Nesta fase foi construído o elemento sensor para se aplicar o conceito do efeito *Seebeck* entre o NTC e o cobre, essa etapa foi realizada no laboratório no Laboratório de Modelagem, Simulação e Controle do Campus de Abaetetuba da UFPA.

Os materiais utilizados nesta etapa:

- BP com estrutura formada por aglomerados de NTCPM's de dimensões 14x10 cm ou 140 cm²;
- Placa de fenolite cobreada simples face;
- Tinta prata condutora.

A placa é preparada para que o BP seja soldado sobre o cobre com a utilização da tinta prata metálica. Após ser soldada, aplicou-se uma tensão sobre os terminais afim de obter a polaridade do sensor. A Figura 3.2 mostra o design inicial do sensor manufaturado.



Figura 3.2 - Design inicial do sensor nanoestruturado.

3.2 - CARACTERIZAÇÃO DO ELEMENTO SENSOR, COMO SENSOR DE INCÊNDIO

Nesta fase, após a montagem do protótipo, foram realizados diversos testes termoelétricos e caracterização morfológica do BP utilizando os seguintes equipamentos:

- VEGA3 SB-TESCAN para fazer uma microscopia eletrônica de varredura (MEV) na superfície do elemento sensor;
- Multímetro digital ET-3200 MINIPA para efetuar as medições de tensão e corrente do dispositivo;
- Lâmpada infravermelha 150 W PAR 38 para testes termoelétricos *indoor* sobre o BP;
- Termômetro infravermelho WEIS TUS modelo GM300 para fazer a medição de temperatura no BP e na fonte de calor.

A morfologia da vista superior e da seção transversal do BP foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) usando um VEGA3 SB-TESCAN, vale lembrar que todos os testes de MEV foram feitos no laboratório LABNANO-AMAZON/UFPA. Nesta caracterização, utilizou-se um feixe de elétrons acelerado por

alta voltagem de 20 kV, cuja interação com a amostra emitiu elétrons secundários. Esses sinais foram convertidos em micrografias com informações morfológicas com vistas superior e transversal. A região central do BP foi analisada utilizando-se campo de visão de 442 μm e distância de trabalho de 7,63 mm, conforme publicado por PINHEIRO *et al.* (2019).

Os testes termelétricos foram realizados em dois ambientes: ambiente fechado (*indoor*) e ambiente aberto (*outdoor*), em cada teste serão utilizadas diferentes distâncias do protótipo em relação a fonte de calor, para mensurar as tensões e correntes geradas pelo BP, além de monitorar a temperatura em ambos.

Para medições elétricas sob variação de temperatura, a tensão do protótipo foi medida pelo método de dois pontos pelo multímetro digital ET-3200 MINIPA, e foi monitorado via USB via Arduino. As temperaturas foram medidas com um termômetro infravermelho GM 3000. A Figura 3.3 mostra a esquematização dos testes *indoors* realizados.



Figura 3.3 - Ilustração esquemática dos testes Indoors.

Os testes *indoors* foram utilizados as distâncias de 20, 30 e 50 cm, o tempo de exposição foi de 80 segundos para cada distância, com a temperatura ambiente controlada a 27 °C, realizados em casa, o multímetro digital utilizado para medir as termovoltagens e correntes elétricas do BP em cada distância. Essas distancias foram utilizadas de acordo com o estudo de PINHEIRO *et al.* (2019) onde utilizou distâncias de 20 cm e 100 cm. A Figura 3.4 mostra a esquematização dos testes *outdoors* realizados.

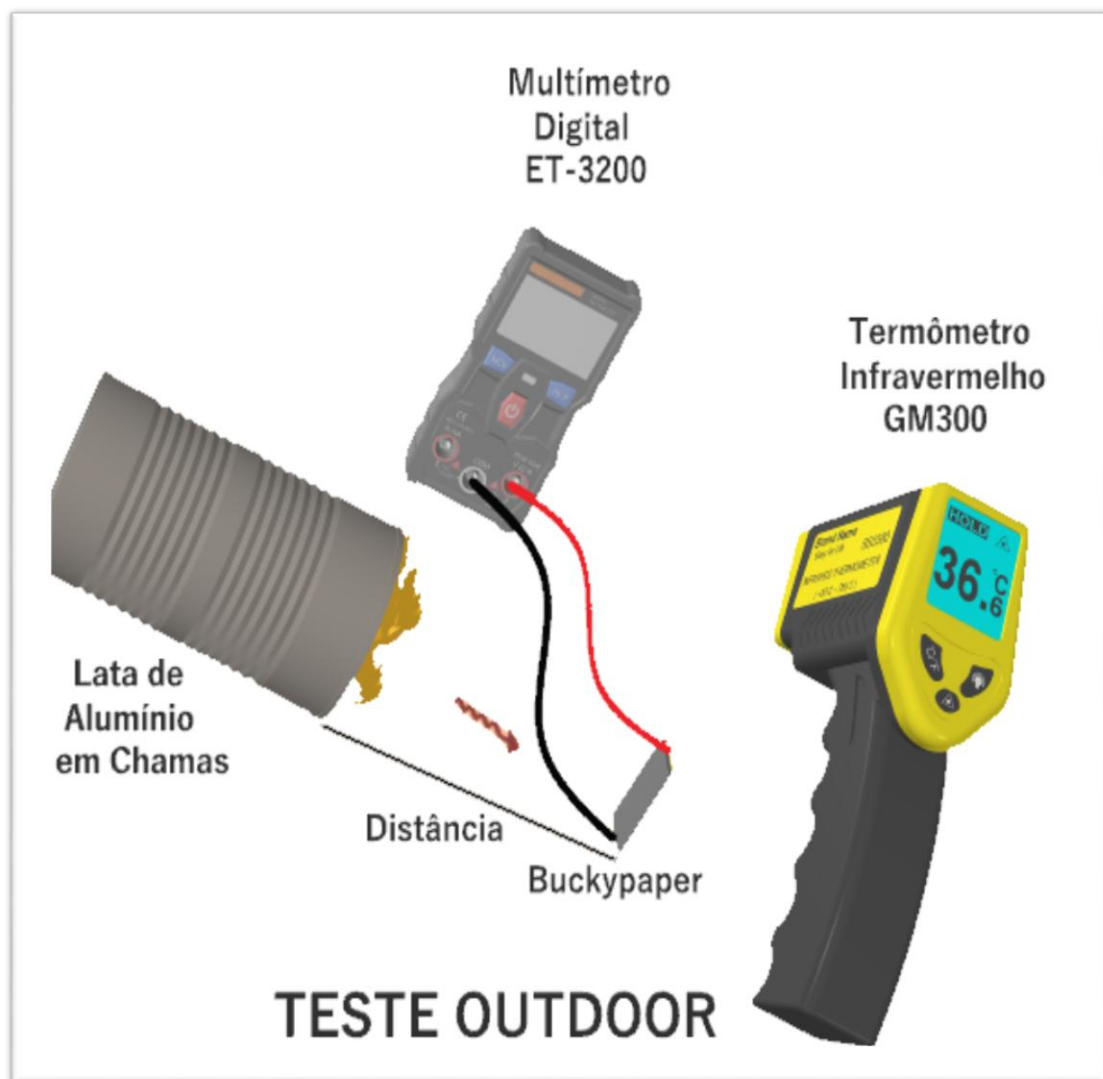


Figura 3.4 - Ilustração esquemática dos testes *Outdoors*.

Nos testes *outdoor* as distâncias foram de 30,50 e 100 cm, foi utilizada uma lata com gravetos em chamas como fonte de calor, a temperatura ambiente variava de 27°C a 30 °C, foi utilizado o tempo de exposição de 80 segundos, realizados em área aberta.

3.3 - INTEGRAÇÃO IOT

A arquitetura de hardware utilizada para integração IoT foi NodeMCU ESP8266 versão 1.0, segundo KASHYAP *et al.* (2018) é um kit de desenvolvimento e firmware de código aberto que ajuda na prototipagem de produtos IoT, podendo utilizar a programação semelhante a IDE do Arduino, acrescentando um Wi-Fi embutido de menor custo de energia. Após a definição da arquitetura a ser utilizada, se inicia a integração do sensor ao Broker via placa NodeMCU, o elemento sensor já está apto para ser utilizado e foi integrado a um sistema IoT para capturar os sinais do sensoriamento e tratá-los para chegar como mensagem até o usuário final, o material utilizado nesta etapa:

- NODEMCU para tratar os dados do sensor e enviar os dados via MQTT para o *Broker* MQTT;
- *Broker* MQTT para receber os dados do Sensor e publicar para o Inscritos nos tópicos do Servidor;
- Conversor ADC 16 BITS para ter uma melhor leitura do sensor, visto que o sinal de saída é na escala de $\mu\text{V}/\text{mV}$, segundo GUILLEN (2019) O modelo ADS1115 conversor analógico-digital pode ser configurado em 15 ou 16BITS dependendo da finalidade e precisão necessária, para esta aplicação será configurado para 16 BITS.

Nessa etapa, foram feitas as primeiras concepções dos esquemas elétricos/eletrônicos para integrar o BP num sistema IoT, após isso, foi desenvolvido o algoritmo de controle para ser conectado a um *Broker* de MQTT com o intuito de enviar mensagens em relação ao estado do sensor. Esta etapa foi realizada usando uma rede local para validação de conexão e montagem e soldagem de componentes no protótipo. A primeira concepção do circuito de validação pode ser na Figura 3.5.

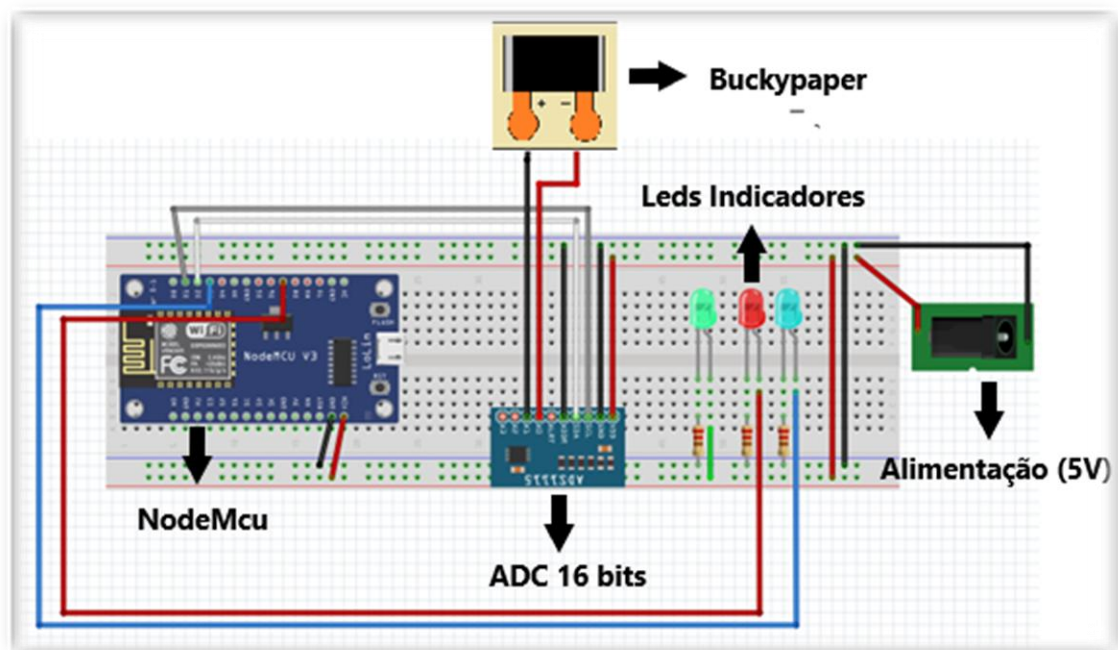


Figura 3.5 - Circuito de integração, BP sendo utilizado como sensor.

A primeira concepção foi feita na plataforma *Fritzing*, montada em protoboard para validação do conceito de IoT utilizando o BP como sensor.

3.4 - MONITORAMENTO EM TEMPO REAL

Nesta fase, o protótipo do sensor já está integrado em um sistema IoT e, foram feitos os testes de monitoramento das mensagens e validação do protótipo em fase final. Além de monitorar através de um aplicativo mobile, onde foram tratadas todas as mensagens possíveis, para que o usuário final saiba o estado do sensor em qualquer lugar em tempo real. A Figura 3.6 mostra a esquematização de como ocorreu o processo de validação de mensagens.



Figura 3.6 - Esquemática do processo de validação de mensagens.

Conforme a Figura 3.6 o protótipo utilizando o *Buckypaper* como sensor detecta a variação de temperatura e publica em um tópico (*Publish*) esse alerta, esse tópico vai para um broker na nuvem e fica disponível para que aparelhos configurados com os endereços do protótipo recebam essa mensagem caso estejam inscritos no tópico. Os aparelhos configurados podem também enviar mensagens para o protótipo se inscrevendo em um tópico (*Subscribe*) disponível para envio de mensagens.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO

O BP utilizado no protótipo foi fornecido e fabricado pelo Grupo de Materiais Nano e Microestruturados da Amazônia, da Universidade Federal do Pará, para testes termelétricos. E a placa para montagem do circuito do BP foi fundamentada de acordo com o efeito *Seebeck* e está configurada para variar a tensão sob variação da temperatura, conforme visto em PINHEIRO *et al.* (2019), onde o BP É colocado sobre o cobre e suas duas extremidades são fixadas ao cobre pelo uso de tinta prata condutora, gerando uma junção entre o BP e o cobre, a fim de gerar tensão nos terminais positivo e negativo da placa, conforme o calor incide sobre o BP. A Figura 4.1 mostra a concepção inicial do protótipo do BP montada sobre o cobre.

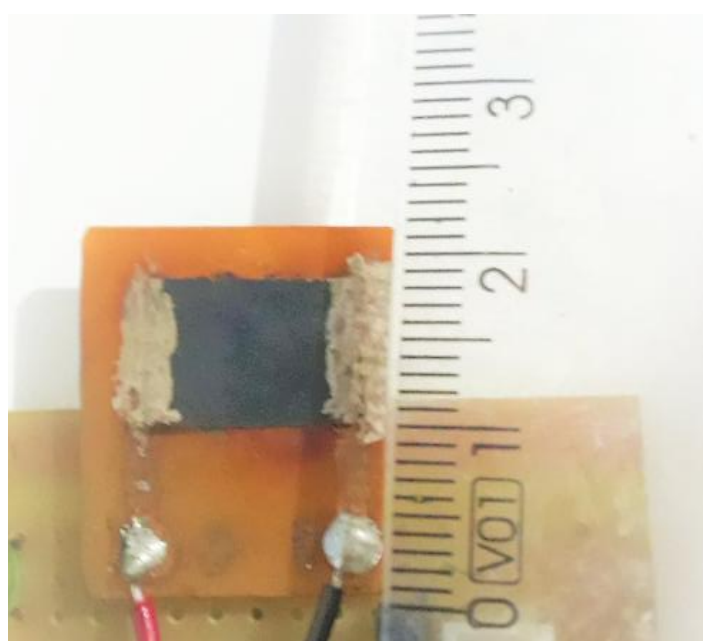


Figura 4.1 - Elemento sensor baseado em BP montado em baquelite.

Foi aplicada uma tensão CC de 2,0 V por 30 minutos conforme PINHEIRO *et al.* (2019), a fim de obter a orientação de um momento dipolar na camada dielétrica

entre a BP e os eletrodos de cobre. Antes dos testes o dispositivo foi descarregado eletrostaticamente para não ter nenhuma influência nos resultados.

4.2 - CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

A Figura 4.2 mostra as micrografias do BP na vista superior e na seção transversal. NTCPM's de dispersão aleatória foram observados no papel de filtro na Figura 4.2 (a), onde no topo podem ser vistos NTC's aglomerados, utilizado a configuração aproximação de mil vezes.

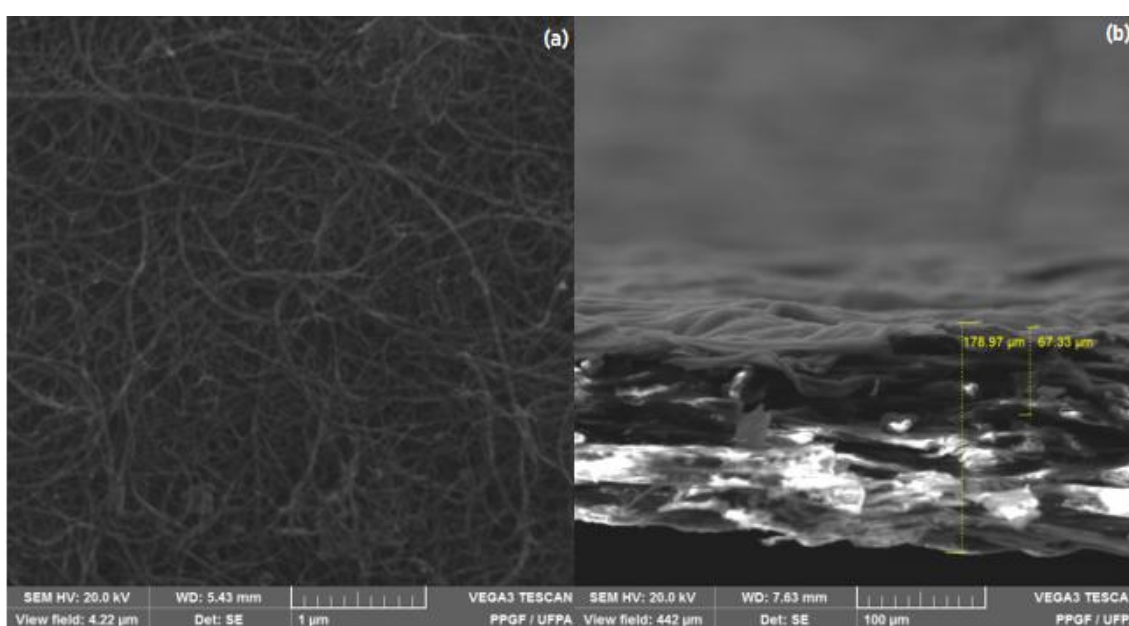


Figura 4.2 - Micrografias do eletrodo BP, onde a vista superior mostra NTCPM's agregados (a) utilizada a ampliação de 20 mil vezes e a vista em seção transversal exibe NTCPM's impregnados (b) utilizada a ampliação de 20 mil vezes.

Na Figura 4.2 (b), os NTC's permearam cerca de 37,62% (67,33 μm) alcançado quase os 40% da espessura de 178,97 μm, de acordo com PINHEIRO *et al.* (2019) nesse caso os NTC's foram impregnados em papel de filtro para formar uma estrutura de suporte, a configuração de ampliação utilizada foi de 20 mil vezes. Segundo ZHANG (2014) nesse processo em que os NTC's permearam, pois eles se depositaram no filtro e formam um *cake* de filtro. Isso é conhecido porque a resistência específica do *cake* é considerada constante, o *cake* permite a passagem do solvente já clarificado e pode transformar-se em um eficiente meio de filtro para retenção de partículas ultrafinas (VISWANATHAN *et al.*, 2004).

A partir das micrografias foi calculado o histograma de porosidade onde foi utilizado o aplicativo ImageJ, calculado a partir da vista superior onde mostra os NTCPMS agregados, o histograma de porosidade do *buckypaper* pode ser visualizado na Figura 4.3.

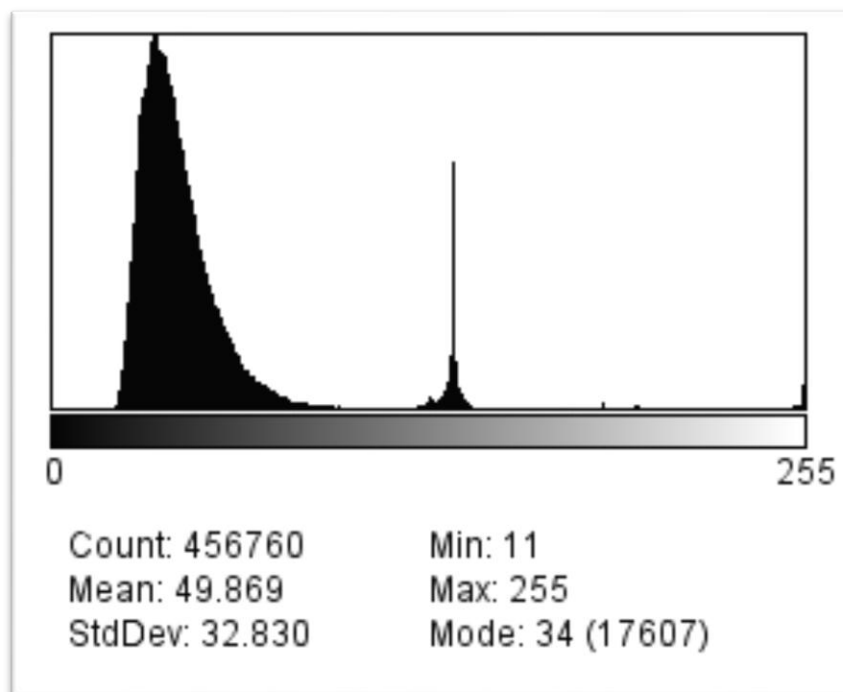


Figura 4.3 - Histograma de porosidade do *buckypaper*.

Conforme o histograma de porosidade do *buckypaper* a média foi de 49,87 nm, apresenta um desvio padrão de 32,83 nm. Segundo ZHANG (2014) a resistência específica da *cake* de filtro depende altamente de sua porosidade, a porosidade do *cake* do *buckypaper* diminui com o aumento da resistência específica do *cake*, dependendo do sistema de filtração o *buckypaper* mais grosso é mais poroso do que o fino. De acordo com ZHANG *et al.* (2012), e SMAJDA *et al.* (2007) a aparente distribuição de tamanho de macroporos não tem conexão com a espessura.

4.3 - CARACTERIZAÇÃO TERMOELÉTRICA

Os testes termelétricos foram feitos em ambiente fechado e ambiente aberto, também conhecido como testes *indoor/outdoor*, respectivamente, no teste *indoor* feitos no protótipo foi utilizado uma lâmpada infravermelha PAR 38, a temperatura ambiente no momento dos testes é de 27°C, utilizando distâncias diferentes de 20 cm, 30 cm e 50

cm de aproximação sobre o BP ao longo de 80 segundos. O teste *indoor* realizado pode ser visto na Figura 4.4.



Figura 4.4 - Teste termelétrico *Indoor* utilizando uma lâmpada infravermelha PAR38.

Para os testes *indoor* o protótipo foi submetido a uma temperatura ambiente de 27 °C e foi utilizado uma lâmpada infravermelha PAR 38 como fonte de calor, foram feitos testes nas distâncias de 30 cm, 20cm e 50 cm do BP em relação a fonte de calor, obtendo resultados de 1,3 mV na distância de 20 cm, de 0,8 mV na distância de 30 cm e 0,3 mV na distância de 50cm , a temperatura máxima no BP foi de 66 °C na distância de 20 cm ao longo de 80 segundos de exposição, a fonte de calor chegou a 170°C. O gráfico 4.5 mostra termovoltagem (mV) em relação ao tempo de exposição das três distancias realizados no teste *indoor*.

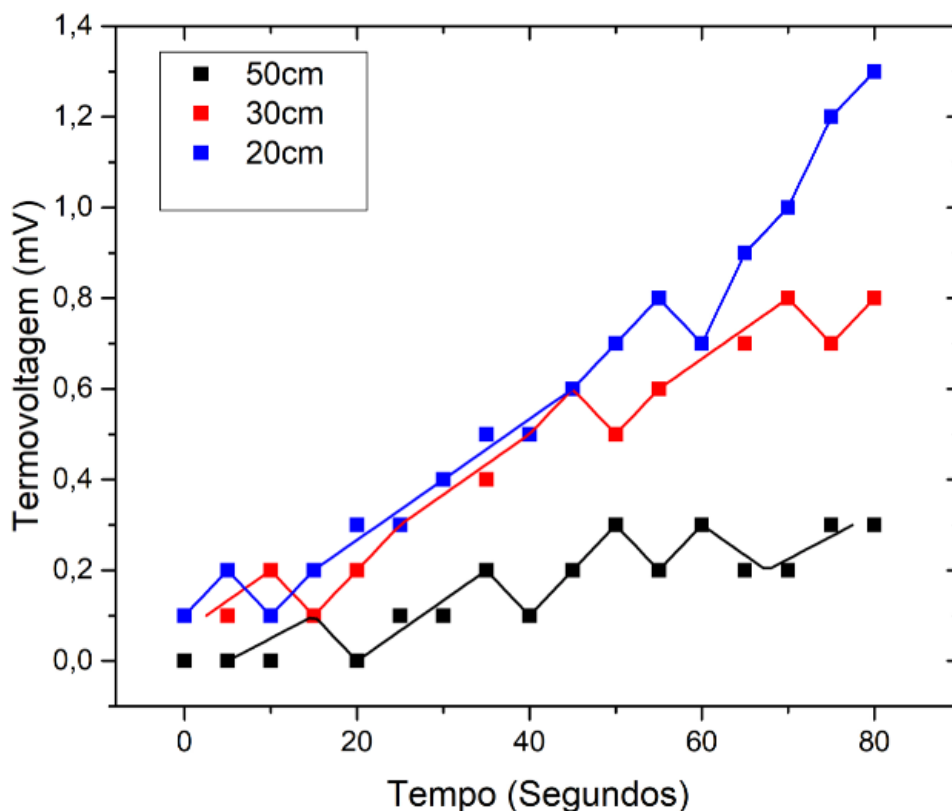


Figura 4.5 - Gráfico de tensão (mV) em relação ao tempo (segundos) - Teste *Indoor*.

No gráfico da Figura 4.5, mostra que quanto maior o tempo de exposição maior a tensão gerada, na distância de 50 cm nota-se a menor termovoltagem gerada devido ao calor não ser completamente direcionado para o BP, diferentemente da distância 20 cm onde o BP está mais próximo a fonte de calor e começa a variar positivamente mais rápido que nas outras distâncias. As correntes também aumentam consideravelmente em relação ao tempo, o maior valor obtido de corrente foi de 0,4 μA na menor distancia, e o menor foi de 0,1 μA na distância de 30 cm, o gráfico da Figura 4.6 mostra a corrente em relação a tensão gerada levando em consideração o mesmo tempo de 80 segundos.

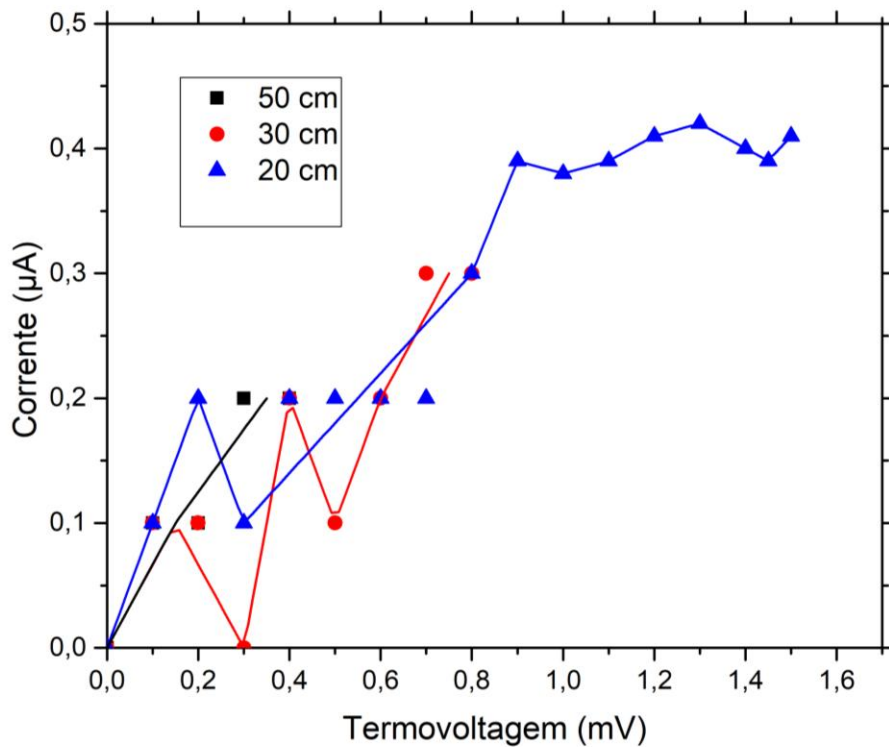


Figura 4.6 - Gráfico de corrente (μA) em relação a tensão (mV) - Teste *Indoor*.

A corrente gerada ao decorrer da incidência cresce gradativamente em torno de 50% na distância de 20 cm e ao atingir 1,0mV já chega ao pico da corrente de 0,4 μA , ainda que algumas variações de cerca de 0,1 μA , a distância de 50 cm ainda chega na marca de 0,2 μA perto dos 0,3 mV de tensão onde se estabiliza, a distância intermediária de 30 cm atinge a corrente de 0,3 μA . Os testes *indoor* destacam como o sensor consegue detectar uma variação de temperatura em 80 segundos, considerando que nos testes a fonte calor variou de 27 °C a 170 °C, e o BP variou de 27 °C até 67 °C na distância de 20 cm, a variação de temperatura nas distâncias e a coeficiente de *Seebeck* (α) das três distâncias são mostradas na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Características termelétricas - Teste *indoor*.

Tabela de características termelétricas -Teste indoor			
Distância(cm)	20	30	50
ΔT °C (K)	2 (2)	1(1)	2 (2)
ΔV(mV)	1,1	0,7	0,1
α (mV/K)	0,55	0,7	0,1
Temperatura Máxima-BP °C (K)	67,85 (341)	53,85 (327)	41,85 (315)
Temperatura Máxima - Lâmpada infravermelha °C (K)	171,85 (445)	171,85 (445)	170,85 (444)

O segundo teste termelétrico foi feito em ambiente aberto (*outdoor*), foi utilizado uma lata de alumínio furada como recipiente, queimada com gravetos e folhas secas dentro. O BP foi colocado a distâncias de 20 cm, 50 cm e 100 cm da lata de alumínio, a temperatura ambiente variava de 27°C a 30 °C, e o tempo de exposição de cada teste foi de 80 segundos. O Teste *outdoor* realizado pode ser visto na Figura 4.7.



Figura 4.7 - Teste termelétrico *Outdoor* utilizando uma lata de alumínio como fonte de calor.

No teste outdoor se obteve os resultados de 2,3mV na distância de 20 cm, 0,4 mV na distância de 50 cm e 0,1 mV na distância de 100cm, a fonte de calor chegou a

243 °C e a temperatura máxima no BP foi de 87 °C. A Figura 4.8 mostra o gráfico da termovoltagem (mV) em relação ao tempo de exposição das três distâncias.

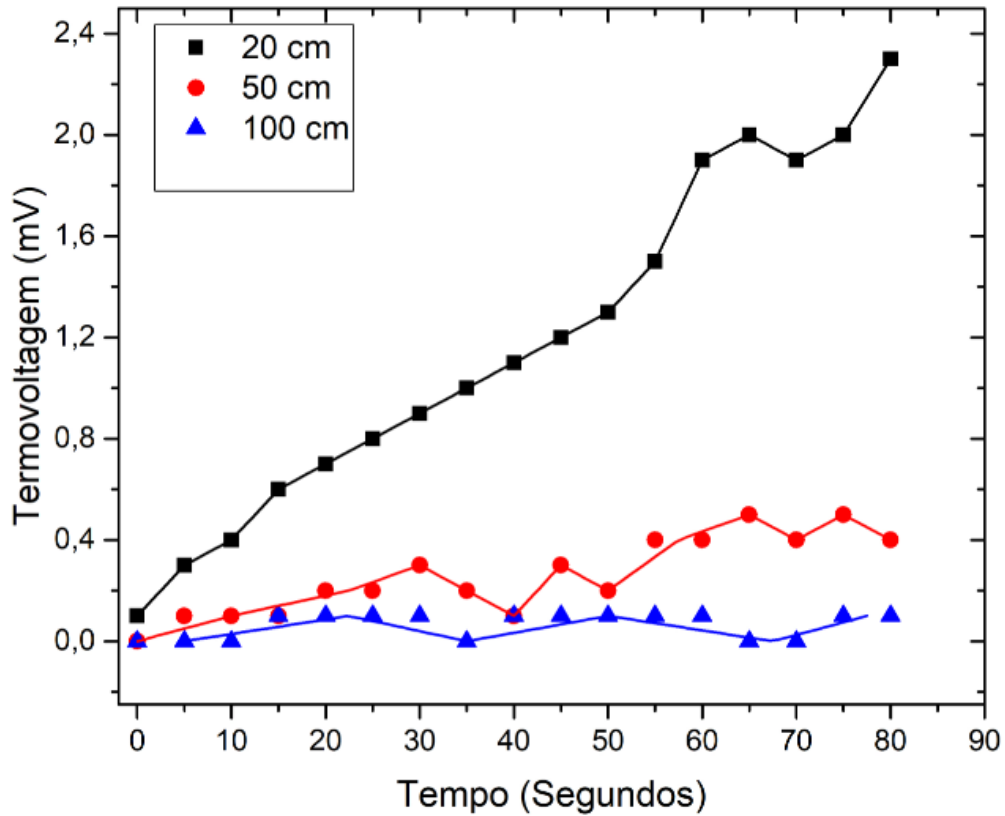


Figura 4.8 - Gráfico da tensão(mV) em relação ao tempo(segundos) - Teste *Outdoor*.

Assim como no teste *indoor* a menor distância foi a que mais teve um maior valor de tensão chegando a 2,2 mV, também se nota que na maior distância o BP temos um baixo valor de tensão como já esperado para um ambiente aberto, na distância intermediária conseguimos uma boa variação a partir de 30 segundos de exposição chegando a 0,4 mV. Foram medidas correntes nas três distâncias e em comparação as tensões medidas no mesmo intervalo de tempo, como mostra a Figura 4.9.

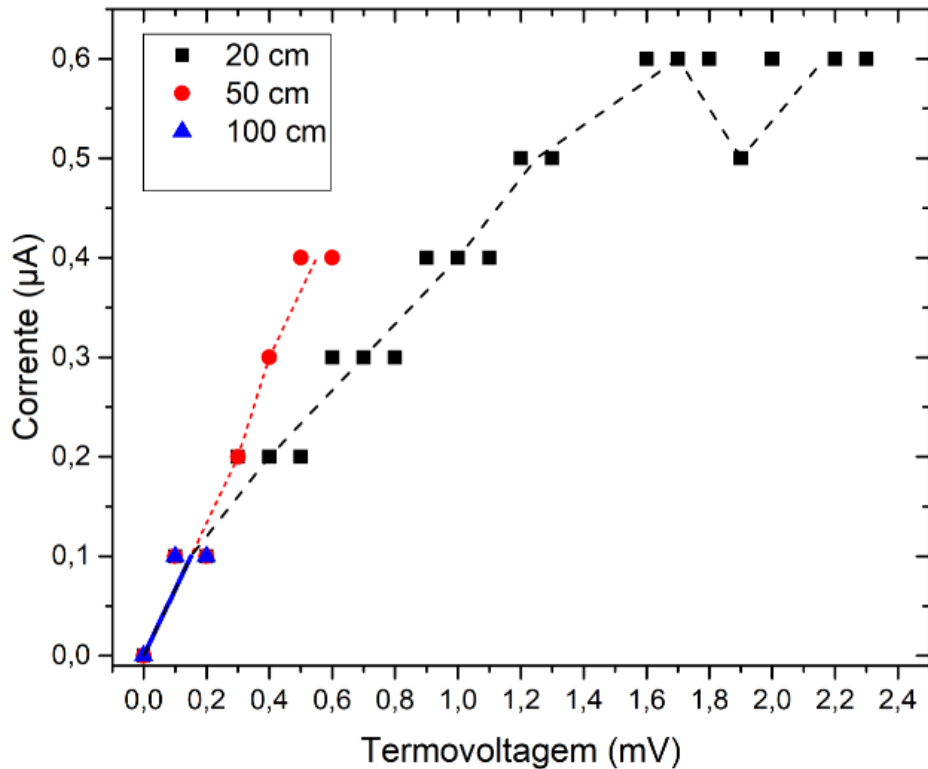


Figura 4.9 - Gráfico da Corrente (μA) em relação a tensão (mV) - Teste *Outdoor*.

Na distância de 100 cm se obteve o máximo de $0,1 \mu\text{A}$ como já esperado devido a tensão obtida, a menor distância teve um pico de corrente ao 1,5 mV conseguindo uma corrente de $0,6 \mu\text{A}$ ao longo dos 80 segundos do teste, já na distância intermediária se obteve a corrente de $0,4 \mu\text{A}$ na tensão de 0,5 mV. A fonte de calor nos testes variou de 30°C a 243°C , e o BP chegou a uma temperatura máxima de 87°C .

Tabela 4.2 - Características termelétricas - Teste *outdoor*.

Quadro de características termelétricas - Teste outdoor			
Distância(cm)	20	50	100
ΔT °C (K)	3 (3)	2 (2)	1 (1)
ΔV(mV)	2,2	0,4	0,1
α (mV/K)	0,73	0,2	0,1
Temperatura Máxima-BP °C (K)	87,85 (361)	48,86 (322)	33,85 (307)
Temperatura Máxima – Lata de alumínio °C (K)	243,85 (517)	243,85 (517)	243,85 (517)

Com esses dados pode se verificar que a distância intermediária o BP já começa a variar a temperatura, gerando tensão mínima que pode ser utilizada para fins de aumento de temperatura, e quando diminuimos a distância temos uma resposta rápida do sensor em relação a variação da temperatura levando em consideração que os dados mostrados foram coletados ao longo de 80 segundos apenas. A Figura 4.10 mostram os gráficos das comparações dos testes indoor e outdoor realizados, da tensão gerada em relação ao mesmo tempo de 80 segundos, e a mesma distância de 20 cm.

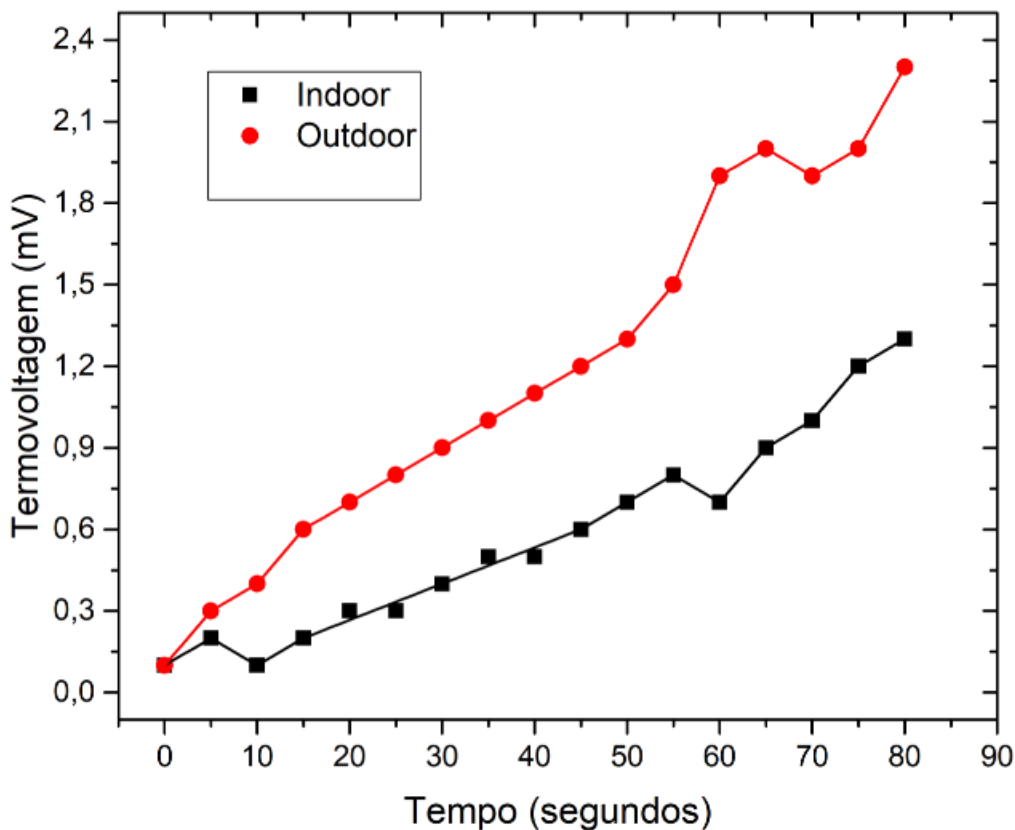


Figura 4.10 - Gráfico da tensão(mV) em relação ao tempo(segundos) – Comparativo para 20cm.

Nota-se que no teste *outdoor* o sensor gera mais tensão ao longo do tempo decorrido cerca de 100% em relação ao teste *indoor*, por outro lado o teste *indoor* também tem uma variação muito boa pois ele não fica estagnado apesar do crescimento devagar cerca de 0,15 mV a cada 10 segundos, chegando em quase metade da tensão gerada no teste *outdoor* ao final de 80 segundos.

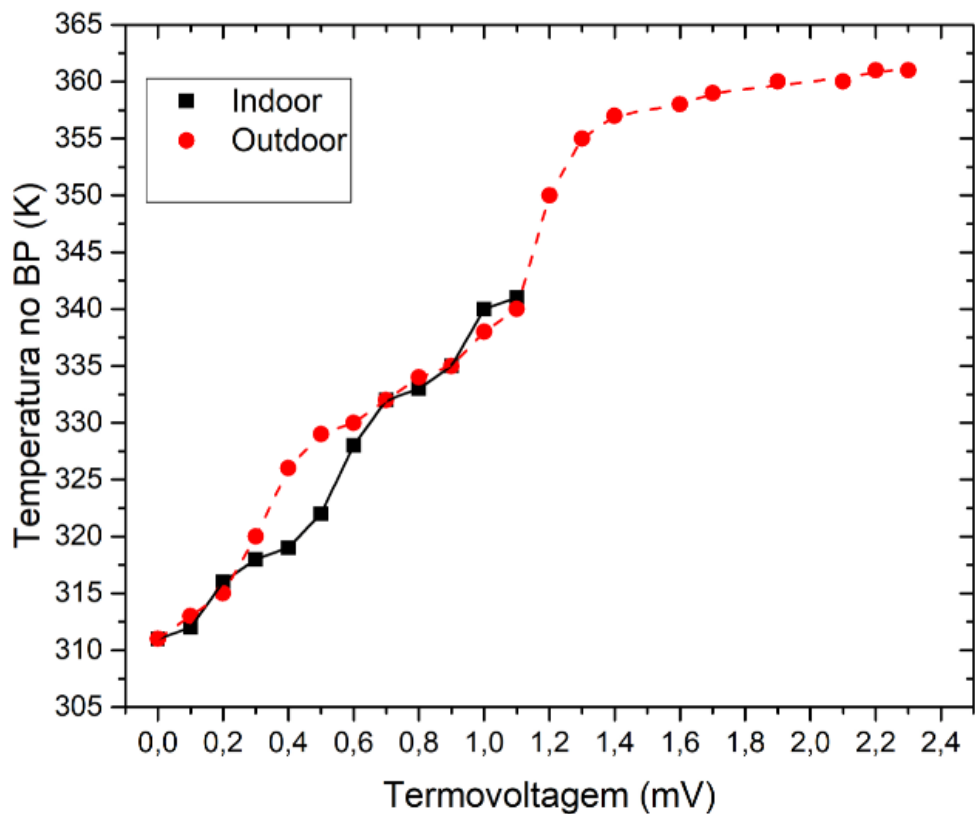


Figura 4.11 - Gráfico da temperatura no BP(K) em relação à tensão gerada (mV) – Comparativo para 20 cm.

O gráfico mostra a temperatura em relação à termovoltagem gerada dos dois testes realizados, as duas crescem rapidamente visto que para gerar 1,0mV o BP está com uma temperatura aproximada de 55°C(328K) e a mesma distância, no teste *indoor* o elemento sensor chega até 1,2 mV e estagna pois ao longo de 80 segundos o essa foi a maior termovoltagem ao longo do teste, por outro lado o teste outdoor consegue chegar a 2,4 mV ao final de 80 segundos de exposição com a temperatura de 86°C(360K).A Figura 4.12 mostra o gráfico comparativo da tensão(mV) em relação ao tempo(segundos) dos testes na distância de 50 cm.

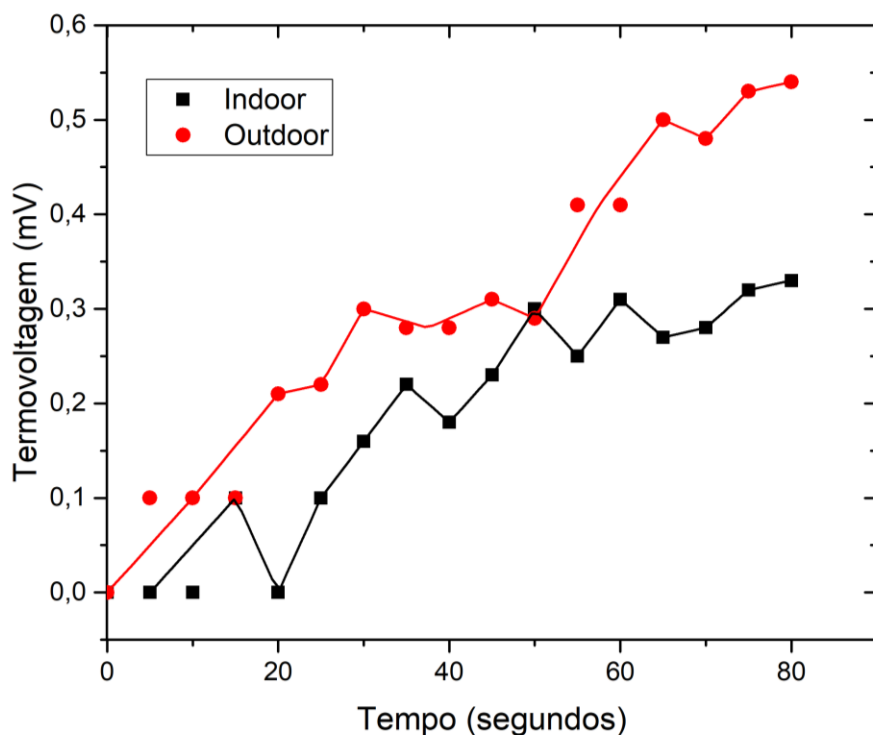


Figura 4.12 - Gráfico da tensão(mV) em relação ao tempo(segundos) – Comparativo para 50 cm.

Os valores de termovoltagens em ambos os períodos dos testes estão bem próximos, chegam a se igualar próximo dos 50 segundos de teste com a termovoltagem de 0,30 mV, os testes *outdoor* nessa distância de 50 cm obtiveram uma termovoltagem melhor ao longo de 80 segundos chegando a 0,54 mV, o maior valor obtido dos testes indoor é de 0,33 mV cerca de 40% menor que as do teste *outdoor*. Na Figura 4.13 mostra o gráfico da temperatura no BP(K) em relação à tensão gerada(mV) para a distância de 50 cm.

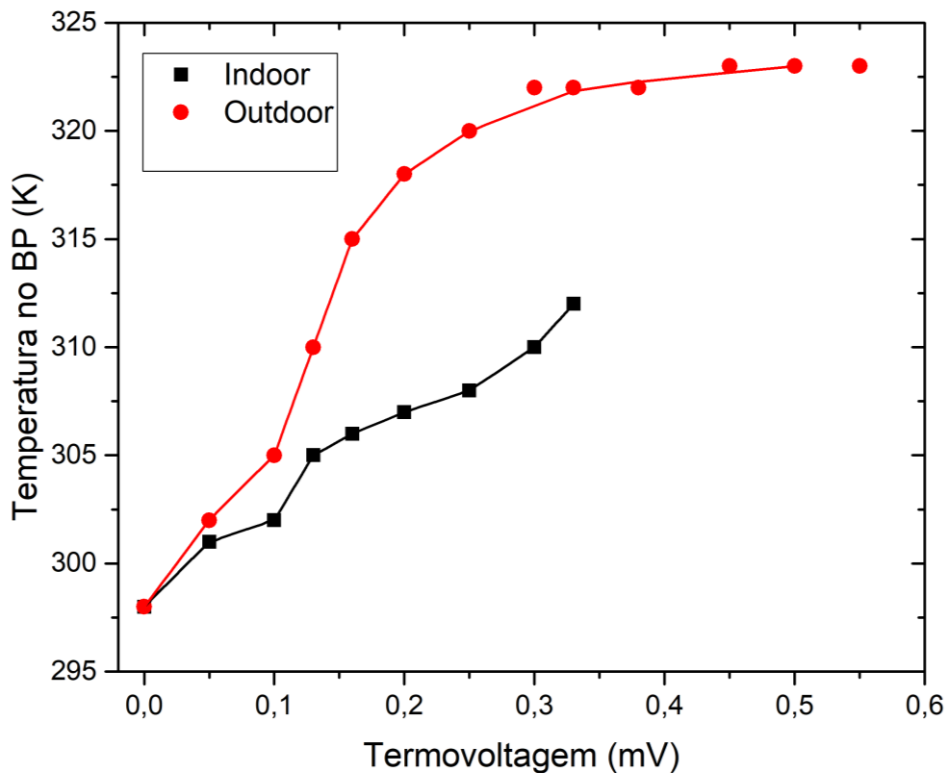


Figura 4.13 - Gráfico da temperatura no BP(K) em relação à tensão gerada(mV) – Comparativo para 50 cm.

No gráfico da Figura 4.13 podemos constatar que a temperatura inicial do BP é de 24 °C (298 K) para ambos os testes, no teste *indoor* ao longo de 80 segundos a temperatura no BP é de 38 °C (312 K) gerando uma termovoltagem de pouco mais de 0,30 mV, no teste *outdoor* o BP alcança uma temperatura de 49 °C (323 K) e gera uma termovoltagem superior ao do teste *indoor* cerca de 70% chegando a 0,50 mV ao longo do tempo de teste.

Na distância de 100 cm não foram obtidas variações de termovoltagens significativas, em ambos os testes ao longo de 80 segundos não se obteve valores maiores que 0,2 mV, mostrando que para essa distância com o tempo de 80 segundos não foi possível obter uma variação significativa para indicar um possível incêndio.

Após os testes realizados constata-se com o BP pode ser utilizado como um sensor térmico em ambos os cenários (*indoor* e *outdoor*), para distâncias de até 50 cm para ter uma rápida resposta em até 80 segundos, e que a 55 °C ele já mostra uma boa variação de tensão na escala mV.

4.4 - INTEGRAÇÃO IOT

Após a primeira concepção do circuito para integrar o BP como um sensor, foi feito o projeto de PCB (Printed *Circuit Board*) utilizando a ferramenta *Altium Designer* que é uma ferramenta de CAD eletrônico, a fim de validar e simular o circuito via *Software* antes de ser montada em placa universal.

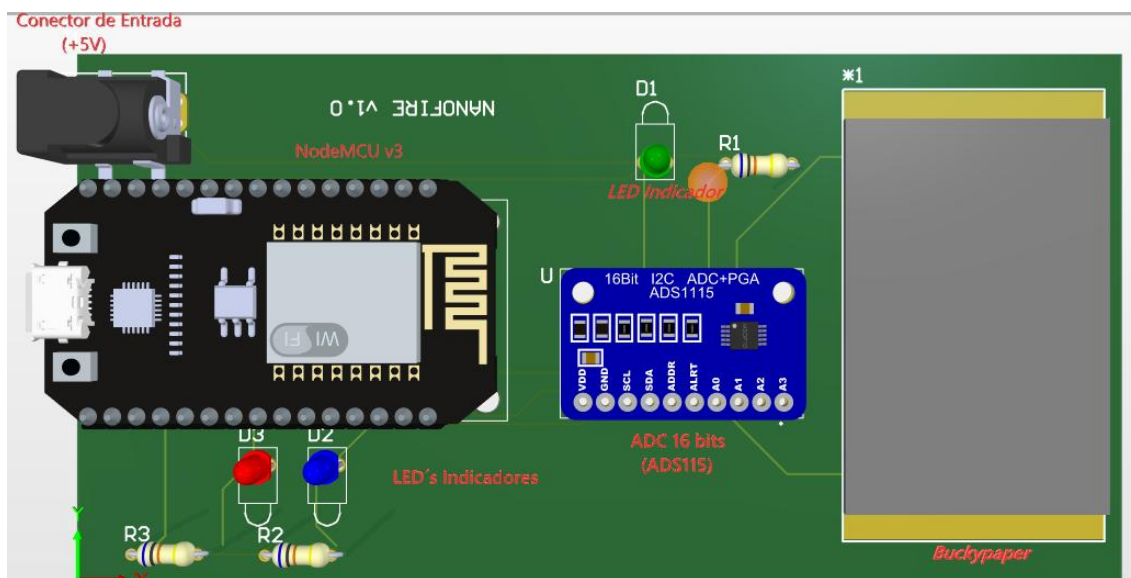


Figura 4.14 - Projeto de PCB, para integração IoT do BP.

Conforme visualizado na Figura 4.14 o conector de entrada serviu para alimentação geral do protótipo (5 volts), os leds indicadores acionam em determinadas situações: o verde caso o dispositivo esteja com alimentação correta (5 volts), o Vermelho caso o sensor detecte uma variação brusca de temperatura configurada pelo usuário, e o azul caso o dispositivo tenha conectado a uma rede WIFI. O Conversor Analógico digital (ADC 16 bits) serve para mensurar a tensões na grandeza de mV e μ V, captada pelo sensor e enviar a tensão lida para o NodeMCU utilizando o protocolo I²C (Inter-Integrated Circuit) .O NodeMCU monitorar o sensor através do ADC e caso tenha alguma variação brusca de temperatura, envia os dados no tópico MQTT para alertar um possível incêndio. O Esquemático Eletrônico do projeto de PCB está mais bem detalhado no ANEXO 1. Após o término do projeto de PCB e validação das ligações, os componentes foram montados em placa universal conforme o Projeto, a Figura 4.15 mostra o protótipo montado em placa universal pronto para ser utilizado como um dispositivo IoT.

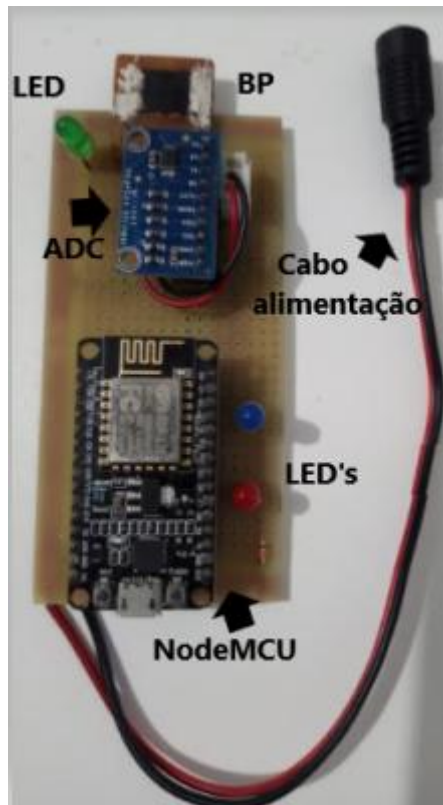


Figura 4.15 - Conceito final protótipo de monitoramento remoto.

O BP foi ligado ao ADC para ter sua termovoltagem amplificada para melhor tratamento dos sinais quando enviada para o NodeMCU, o protótipo também conta com led's indicadores para indicar quando está energizado (verde), quando o sensor está detectando um possível incêndio (vermelho) e quando o protótipo está conectado ao *Broker* para iniciar o monitoramento remoto (azul). Foi adicionado um cabo de alimentação para alimentar todo o dispositivo através de uma tensão de 5 volts.

Após a integração do BP como sensor, foi feito um algoritmo de controle do sensor em linguagem de programação C, através da IDE (Interface de desenvolvimento) Arduino, utilizando a biblioteca PubSubClient para comunicação do NODEMCU ao servidor *Broker* MQTT, assim as mensagens são publicadas no servidor conforme o estado do sensor.

4.5 - MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DO SISTEMA IOT

Foram criados inicialmente dois tópicos: Tópico Ligado e Tópico Sensor.

O tópico ligado indica se o protótipo está conectado ao *Broker*, ou seja, se ele está pronto para enviar mensagens ao App de monitoramento. O tópico sensor indica o

status do sensor em relação ao monitoramento, esse tópico é o mais importante do monitoramento pois ele indicará um possível incêndio através de alertas. A Tabela 4.3 mostra as descrições dos tópicos criados para teste.

Tabela 4.3 - Descrição dos tópicos de monitoramento.

<i>Tópicos</i>	<i>Descrição</i>	<i>Mensagens no APP</i>	<i>Identificação visual no Protótipo</i>
<i>Conectado</i>	Verifica se o protótipo está conectado como o <i>Broker</i> .	- LIGADO (Caso Conectado); - DESLIGADO (Caso desconectado).	LED AZUL
<i>Sensor</i>	Verifica o status do Sensor.	- FIRE (Caso o sensor ultrapasse a termovoltagem limite, indicando um possível incêndio); - NENHUMA OCORRÊNCIA (caso o sensor não ultrapasse a termovoltagem limite).	LED VERMELHO

A termovoltagem limite é ajustável, nos testes foi utilizado a termovoltagem de 1,0 mV para validar o recebimento de mensagens. Além das mensagens do APP de monitoramento, o usuário poderá ver também se algum tópico está ativo observando os led's indicadores montados no protótipo.

Foi utilizado o aplicativo MYMQTT, para validação das mensagens vindas do dispositivo, segundo KUMBAR *et al.* (2016) MYMQTT é um aplicativo simples que utiliza o protocolo MQTT disponível para Android. O aplicativo tem que ser configurado com todas as informações do algoritmo de controle como endereço do Broker, porta utilizada para comunicação, usuário e senha do algoritmo. Após essa configuração inicial o aplicativo já está pronto para receber mensagens, porém deve se saber quais tópicos ele vai se inscrever para receber essas mensagens. A Figura 4.16 mostra todas a telas utilizadas do aplicativo MYMQTT.

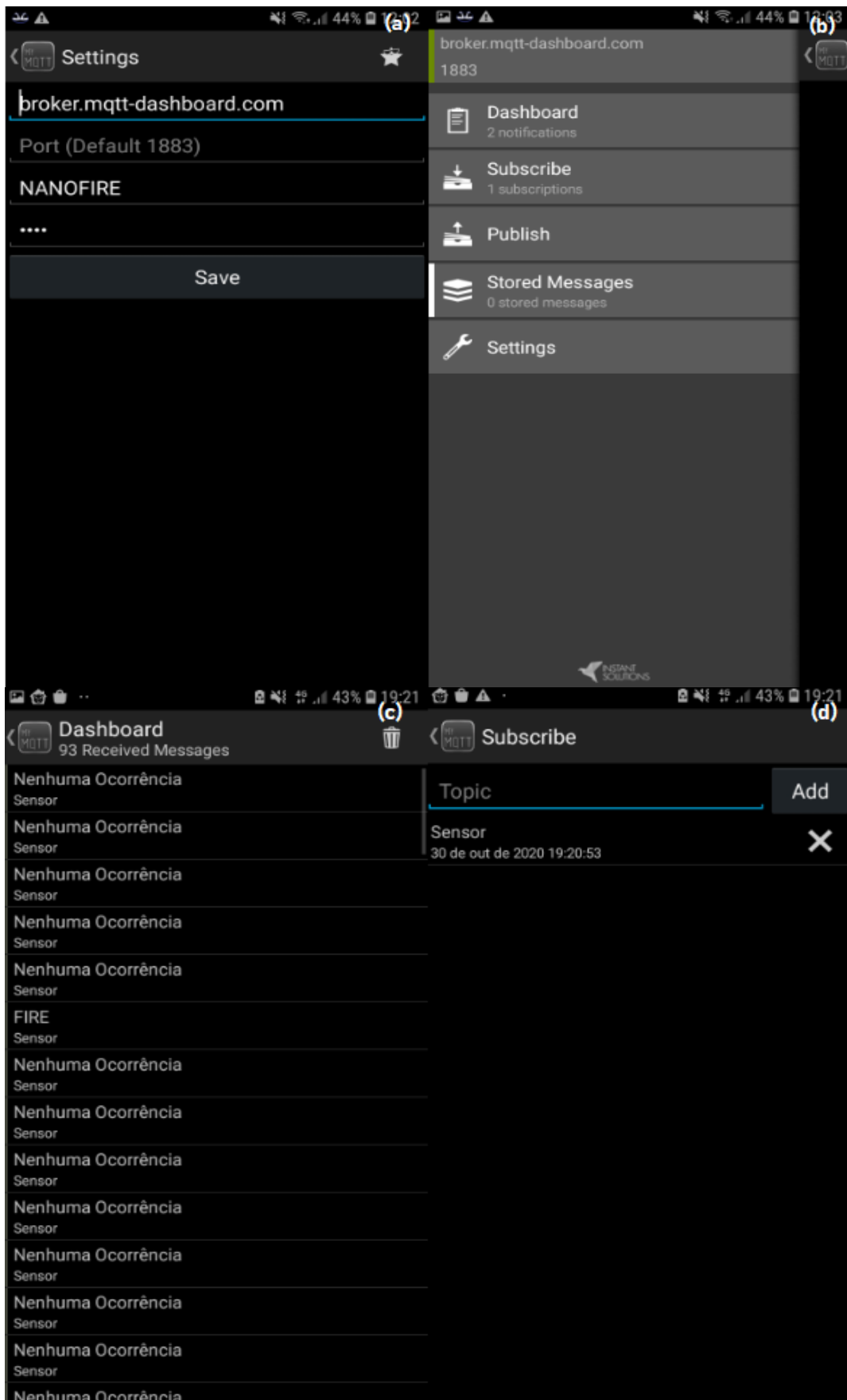


Figura 4.16 - Aplicativo MYMQTT, tela de configuração (a), tela inicial (b), tela de recebimento de mensagens do protótipo (c) e tela de inscrição do tópic(d).

Na Figura 4.16a foram configurados os dados do protótipo como endereço do *broker*, a porta de comunicação que foi usada a padrão 1883, o Nome de usuário do protótipo que foi escolhido como NANOFIRE e a senha nano, essas informações devem estar de acordo com as que foram configuradas no protótipo para poder comunicar corretamente com o aplicativo. Na Figura 4.16b podemos ver a *dashboard* onde ficam todas as mensagens recebidas do tópicos inscritos, *Subscribe* onde podemos nos inscrever nos tópicos configurados no protótipo(Conectado e sensor), *Publish* onde criamos um tópico para enviarmos uma mensagem para o protótipo porem ele só receberá se for inscrito no tópico criado, *Stored messages* onde podemos guardar uma ou mais mensagens da *dashboard* para serem analisadas posteriormente, essa mensagens são salvas com data , hora para melhor análise futura.

A Figura 4.16c mostra a *dashboard* onde são mostradas as mensagens do tópico inscrito sensor, que tem como possíveis mensagens:

- “Nenhuma ocorrência” caso o protótipo não detecte termovoltagens maiores que as configuradas;
- “FIRE” para mostrar a detecção de um possível incêndio, nesse caso o protótipo detectou uma termovoltagem maior que a configurada, para teste foi utilizada tensão de 1,0 mV como limite, caso o BP gere mais que 1,0 mV o protótipo envia uma mensagem de alerta para o APP.

Na Figura 4.16d mostra o menu de *Subscribe*, nos testes foram criados dois tópicos:

- Conectado: para determinar se o protótipo está ou não conectado ao *broker*, pois se não estiver não será possível começar o monitoramento;
- Sensor: para verificar o status do sensor lido pelo protótipo, esse tópico é o mais importante pois ele vai monitorar o possível incêndio e emitir um alerta para o APP.

4.6 - ENCAPSULAMENTO DO PROTÓTIPO E CALIBRAÇÃO FINAL

Com o protótipo devidamente integrado e com os testes de monitoramento remoto sucessivos, foi adicionando um case de proteção ao dispositivo para melhorar a detecção de calor somente sobre o sensor (BP), visto que antes o dispositivo era exposto

totalmente ao calor, o que poderia resultar num mal funcionamento precoce. A Figura 4.17 mostra o case desenvolvido para encapsulamento do protótipo.

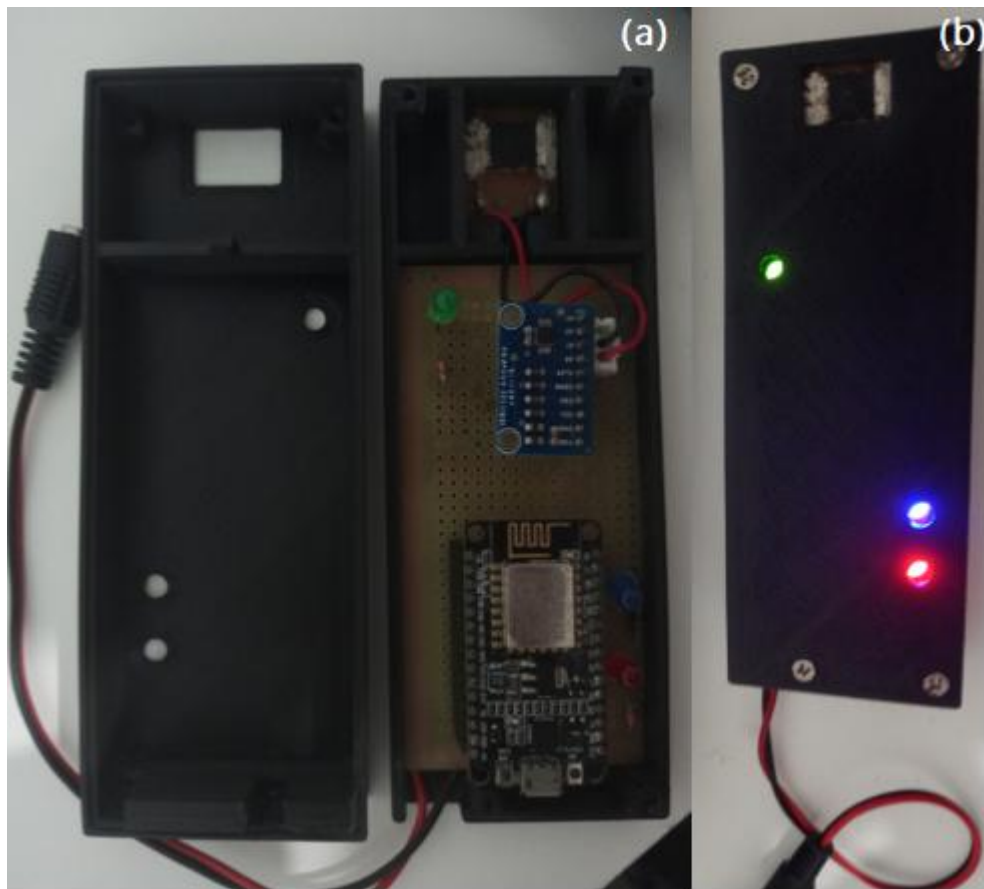


Figura 4.17 - Design interno do case (a) e case montado encapsulando o dispositivo (b).

As dimensões do case são de 9,4cm x 7,8cm x 5,4 cm, o material do case é Fibra de carbono com PETG ESD (*Eletrostatic Discharge*) pois entre os disponíveis para confecção, esse material apresentava proteção ESD contra descargas eletrostáticas, suporta temperaturas de até 90°C sem deformar o material e apresenta durabilidade contra a umidade. (3DXTECH, 2021).

A Figura 4.17(a) mostra que o sensor está isolado dos demais componentes para justamente ter o calor exposto sobre ele, evitando ao máximo passar essa temperatura para o resto do protótipo.

A Figura 4.17(b) mostra o protótipo totalmente encapsulado e com o Sensor (BP) e os led's indicadores a amostra.

Após o processo de encapsulamento do protótipo foi iniciado a calibração final do protótipo, nesse processo será feita a relação de bits por mV gerados no BP e escolhido a melhor faixa de ganho de sinal e precisão para essa aplicação final.

Conforme os testes termelétricos realizados no BP, se obteve termovoltagem na ordem de mV ao longo de 80 segundos de teste por isso foi adicionado o ADC modelo ADS1115 16 bits para amplificar esse sinal de entrada vindo do sensor. O ADC conta com 4 entradas analógicas que podem ser utilizadas no modo simples e no modo diferencial, no dispositivo foi utilizado o modo diferencial pois neste modo se tem o melhor desempenho e precisão do ADC, o ADC com 6 tipos de ganho que podem ser selecionados, abaixo se encontra a Tabela 4.4 de valor de entrada máxima por ganho selecionado. (TEXAS INSTRUMENTS, 2009).

Tabela 4.4 - Características Ganho x BIT/uV.

GANHO	VOLTAGEM (MAX ENTRADA)	RESOLUÇÃO (BIT/μV)
2/3 x	$\pm 6411\text{Mv}$	187,5 μ V
1 x	$\pm 4096\text{mV}$	125 μ V
2 x	$\pm 2048\text{mV}$	62,5 μ V
4 x	$\pm 1024\text{mV}$	31,25 μ V
8 x	$\pm 512\text{mV}$	15.625 μ V
16 x	$\pm 256\text{mV}$	7,8125 μ V

Sendo que o dependendo do ganho selecionado a entrada mensurada não poderá ultrapassar a voltagem máxima de entrada, evitando mal funcionamento do ADC. Nos testes foi utilizado os ganhos de 2/3x, 1x, 2x e de 16x, sendo que quanto maior o ganho selecionado mais a leitura fica suscetível a ruídos, realizando leitura indesejadas, as que obtiveram mais precisão de acordo com o multímetro foram as de 1x e de 2x, foi escolhida para calibração a de 2x por tem uma variação maior de bits conforme o temovoltagem que vai ser recebida no BP. Em (3) temos a temovoltagem do BP usada na calibração do ADC.

$$TV = Nb \times Res [mV] \quad (4.1)$$

Onde:

TV é a temovoltagem real do BP em mV;

Nb é o número de bits lido pelo ADC;

Res é a resolução por ganho no caso 62,5uV.

Assim conseguimos saber qual a termovoltagem está sendo emitida pelo BP, e utilizaremos como parâmetro para detecção para um possível incêndio, no caso para 1 mV para esse ganho que usaremos ficaria 16 bits como limite.

$$\begin{aligned}1mv &= Nb \times 0,0625 \\ Nb &= 1/0,0625 \\ Nb &= 16 \text{ bits}\end{aligned}$$

Escolhida a configuração e foi realizada a calibração final, a Figura 4.18 mostra os dados sendo monitorados em tempo real com a configuração escolhida.

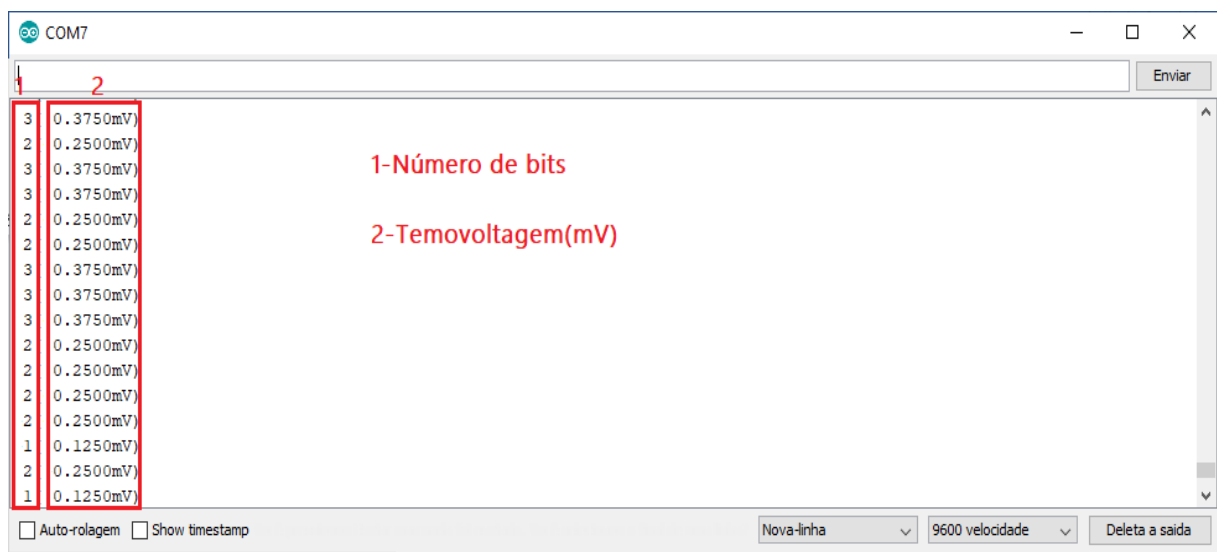


Figura 4.18 - Calibração Final do protótipo, valor em bits (1) e termovoltagem (mV).

Após a calibração final o protótipo pode ser monitorado tanto pelo valor em bits como pelo sua termovoltagem atual, como mostrado na figura acima. Com isso foram adicionados dois alertas um quando o BP está com a termovoltagem igual a 0.5mV (8 bits) será emitido uma mensagem: “ALERT!”, e outra quando o dispositivo atinge o 1mV (16 bits) emitindo a mensagem: “FIRE!”. Foi adicionado um tópico para recebimento de mensagens (do usuário caso o protótipo atinge o limite de termovoltagem configurada, ele deverá mandar o status até receber um “OK” do usuário, caso contrário ele continuará a receber a mensagem até checar o ocorrido. A Figura 4.19 mostra esse processo no aplicativo MYMQTT.

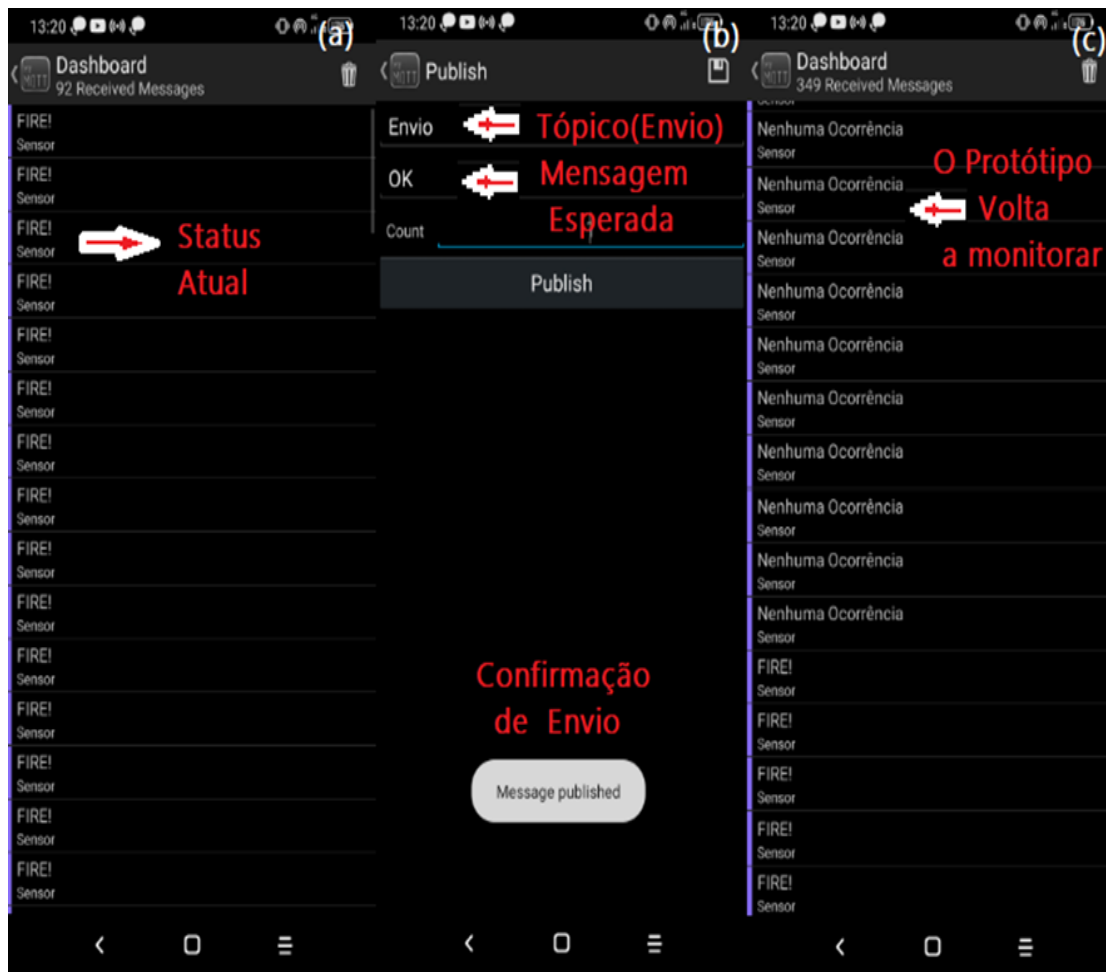


Figura 4.19 - Novo Configuração de Monitoramento, Status atual do protótipo (a), envio para o tópico de recebimento do protótipo (b) e alteração do status após o recebimento da mensagem (c).

Nesse teste realizado o protótipo superou o limite de 1,00 mV e enviou a mensagem para o APP na Figura 4.19(a), após isso o protótipo foi afastado da fonte de calor e enviou uma mensagem para o Tópico Envio, criado somente para recebimento de mensagens do usuário, o usuário mandou a mensagem “OK” conforme Figura 4.19(b). Após o envio da mensagem o tópico de monitoramento “Sensor” voltou a monitorar em tempo real o status do sensor. A Figura 4.20 mostra esse mesmo processo monitor do protótipo.

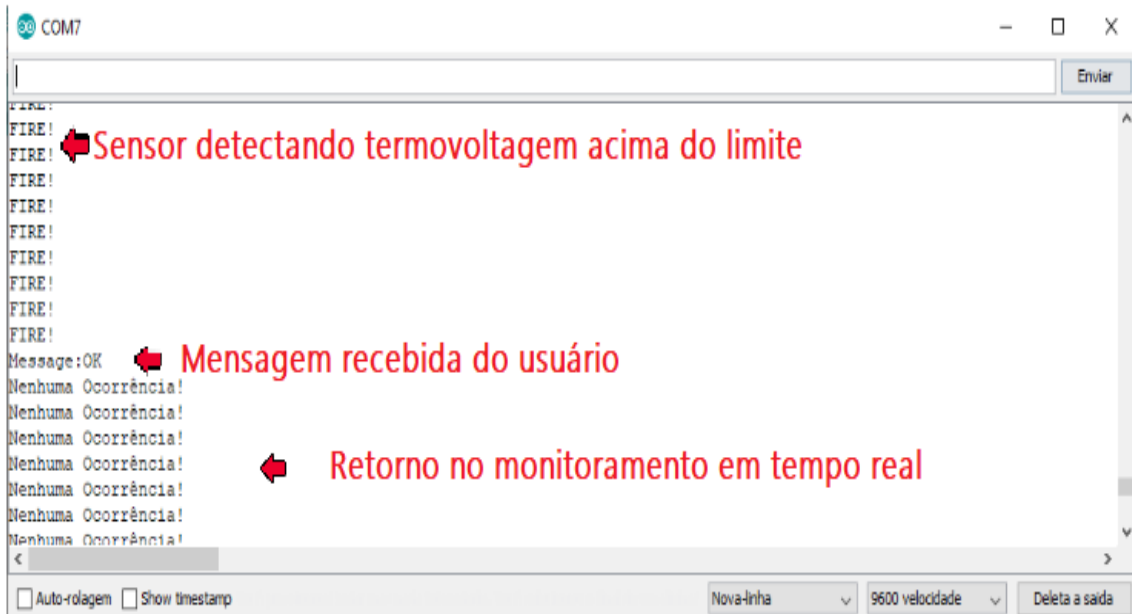


Figura 4.20 - Recebimento de mensagens do usuário no tópico (envio) após um possível incêndio.

Esse teste é mesmo realizado na Figura 4.19, só que esse status é do protótipo onde primeiro ele detecta a termovoltagem acima do limite e publica no tópico de monitoramento esse alerta, após isso ele recebe uma mensagem do usuário no tópico de envio “OK” e após esse recebimento volta a monitorar em tempo real enviando o status atual para o tópico de monitoramento, caso o protótipo não receba a mensagem esperada (“OK”) ele continuaria a mandar a mensagem (“FIRE!”) até que o usuário enviasse a mensagem esperada.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

Como informado o Buckypaper utilizado nessa pesquisa foi cedido pela UFPA para testes termelétricos e novas aplicações, o elemento sensor foi manufaturado utilizando o Buckypaper cedido e cobre da placa de baquelite apresentado uma resistência inicial de $18,29k\Omega$, o elemento sensor obteve bons resultados termelétricos para distâncias menores que 50 cm do foco apresentando valores de até 2,6mV ao longo de 80 segundos, para distâncias maiores o protótipo não conseguiu ter uma resposta rápida e com distâncias maiores de 100 cm raramente consegue detectar uma termovoltagem boa, acima de 0,5 mV.

A termovoltagem gerada pelo elemento sensor foi utilizado como parâmetro de detecção para um possível incêndio e teve sua termovoltagem amplificada utilizando o conversor ADC para uma maior amplitude de dados para o sistema IoT, a tensão de limite utilizada no protótipo foi de 1 mV.

Nos testes indoor e outdoor o protótipo conseguiu mandar mensagens de alerta para o APP de monitoramento com um atraso de em média 3 segundos por questões de o Broker utilizado ser está hospedado na nuvem, assim que o protótipo ultrapasse a tensão limite acionaria o Broker de mensagens escrevendo FIRE no tópico de monitoramento, e acenderia o led vermelho para identificação visual, após a calibração final foram adicionados dois valores de detecção(0,5mV e 1,0mV) e as mensagens ficaram mais confiáveis devido a confirmação de recebimento do usuário em caso de um possível incêndio, deixando um sistema de monitoramento bem mais real e assertivo.

Conseguimos monitorar o protótipo através de uma aplicação Android e com um atraso de no máximo 3 segundos, assim o usuário consegue ter o status atual do protótipo em tempo real podendo ter alguma ação contra um possível incêndio monitorado na área que o sensor está instalado.

5.2 - SUGESTÕES

Com o protótipo apto para ser utilizado em sistemas de monitoramento remoto, o sistema IoT criado nessa pesquisa pode ser usado para:

- Testar outras variações de *Buckypapers* de diversos tamanhos;
- Fazer a integração em uma rede de sensores para aplicações *outdoor*, em sistemas de monitoramento florestal espalhados em vários pontos específicos.
- Realizar o monitoramento remoto via LoRa (*Long Range*) que é uma tecnologia que conseguem ter um alto alcance utilizando radiofrequência de um nó a outro, além de ter baixo consumo de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3DXTECH. **3DXSTAT ESD-PETG 2021**. Disponível em: <<https://www.3dxtech.com/product/3dxstat-esd-petg/>>. Acesso em: 17 de abril de 2021, 20h32min.

ALBUQUERQUE, S. *et al.* Sistema de Internet das Coisas para Detecção de Incêndios Florestais. In: **Anais do XI Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais**. SBC, 2020. p. 141-150.

ANDO JUNIOR, O. H. **Protótipo de um microgerador termoeétrico para captação de energias residuais baseado no Efeito Seebeck com sistema de transferência de calor intercambiável**. 2014.

CANZIAN, W. P. *et al.* Análise de causa e influência de elementos meteorológicos em ocorrências de incêndios em florestas de produção. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 3, p. 835-844, 2020.

COLOMBO, J. F.; DE LUCCA FILHO, J. INTERNET DAS COISAS (IoT) E INDÚSTRIA 4.0: revolucionando o mundo dos negócios. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 72-85, 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, CBMDF. **Análise da temperatura de incêndio estruturais**. 2009. Disponível em: <<http://bombeirofreitas.wordpress.com/2009/06/01/analise-datemperatura-de-incendio-estruturais/>>. Acesso em: 20 de julho de 2020, 10h25min.

U FAROOQ, M. *et al.* A Review on Internet of Things (IoT). **International Journal of Computer Applications**, v. 113, n. 1, p. 1-7, 2015.

FERIGOLO, F. C. **Prevenção de incêndio**. Porto Alegre: Sulina, 1977.

GOLDSMID, H. J. **The Physics of Thermoelectric Energy Conversion**. San Rafael: Morgan & Claypool Publishers, 2017.

GOMES, T. **Projeto de prevenção e combate a incêndio**. Santa Maria, 2014.

GUILLEN, G. **Gas Leak Alarm**. In: **Sensor Projects with Raspberry Pi**. Apress, Berkeley, CA, 2019. p. 63-78.

HERBST, M. H.; MACÊDO, M. I. F.; ROCCO, A. M. **Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar**. Química Nova, v. 27, n. 6, p. 986-992, 2004.

HU, R. *et al.* Harvesting waste thermal energy using a carbon-nanotube-based thermo-electrochemical cell. **Nano letters**, v. 10, n. 3, p. 838-846, 2010.

KASHYAP, M.; SHARMA, V.; GUPTA, N. Taking MQTT and NodeMcu to IOT: communication in Internet of Things. **Procedia computer science**, v. 132, p. 1611-1618, 2018.

KODALI, R. K.; SORATKAL, SREERAMYA. MQTT based home automation system using ESP8266. In: 2016 **IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)**. IEEE, 2016. p. 1-5.

KUMBAR, B. *et al.* Smart irrigation system using internet of things. Bonfring International Journal of Research in Communication Engineering, v. 6, n. **Special Issue Special Issue on Recent Advancements in Electronics and Communication Engineering** Editors: Dr. GA Bidkar, Dr. C. Vijaya and Dr. SB Kulkarni, p. 04-09, 2016.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, 58, n. 4, p. 431-440, 2015.

LIU, XIANGTAO *et al.* The method of Internet of Things access and network communication based on MQTT. **Computer Communications**, v. 153, p. 169-176, 2020.

MADAKAM, S.; LAKE, V. Internet of Things (IoT): A literature review. **Journal of Computer and Communications**, 3, n. 05, p. 164, 2015.

PANDEY, GAURAV; THOSTENSON, ERIK T. Carbon nanotube-based multifunctional polymer nanocomposites. **Polymer Reviews**, v. 52, n. 3, p. 355-416, 2012.

PINHEIRO, P. F. P.; FERREIRA, L. d. M. P.; RODRIGUES, F. A. d. S.; OLIVEIRA, J. C. d. S. *et al.* Thermoelectric Effect of Buckypaper/Copper Assembly. **Journal of Nanotechnology**, 2019, 2019.

SEITO, A. I. *et al.* **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SMAJDA, R. *et al.* Structure and gas permeability of multi-wall carbon nanotube buckypapers. **Carbon**, v. 45, n. 6, p. 1176-1184, 2007.

TEXAS INSTRUMENTS, **ADS1115**, 2009. Disponível em: <<https://www.ti.com/product/ADS1115>>. Acesso em 17 de abril de 2021, 23h38min.

TRINDADE, P. A. D. **Meios de extinção de incêndio: sistemas automáticos por água**. 2009.

VISWANATHAN, G., KANE, D. B., LIPOWICZ, P. J. High Efficiency Fine Particulate Filtration Using Carbon Nanotube Coatings. **Advanced Materials**, v. 16, n. 22, pp. 2045-2049, 2004.

YOUN-SIK HONG, JAE-HO LEE, An improvement of energy consumption efficiency for MQTT-SN using transmission scheduling and variable period of keep-alive, **Adv. Sci. Lett.** **23** (10) (2017) 9634–9638.

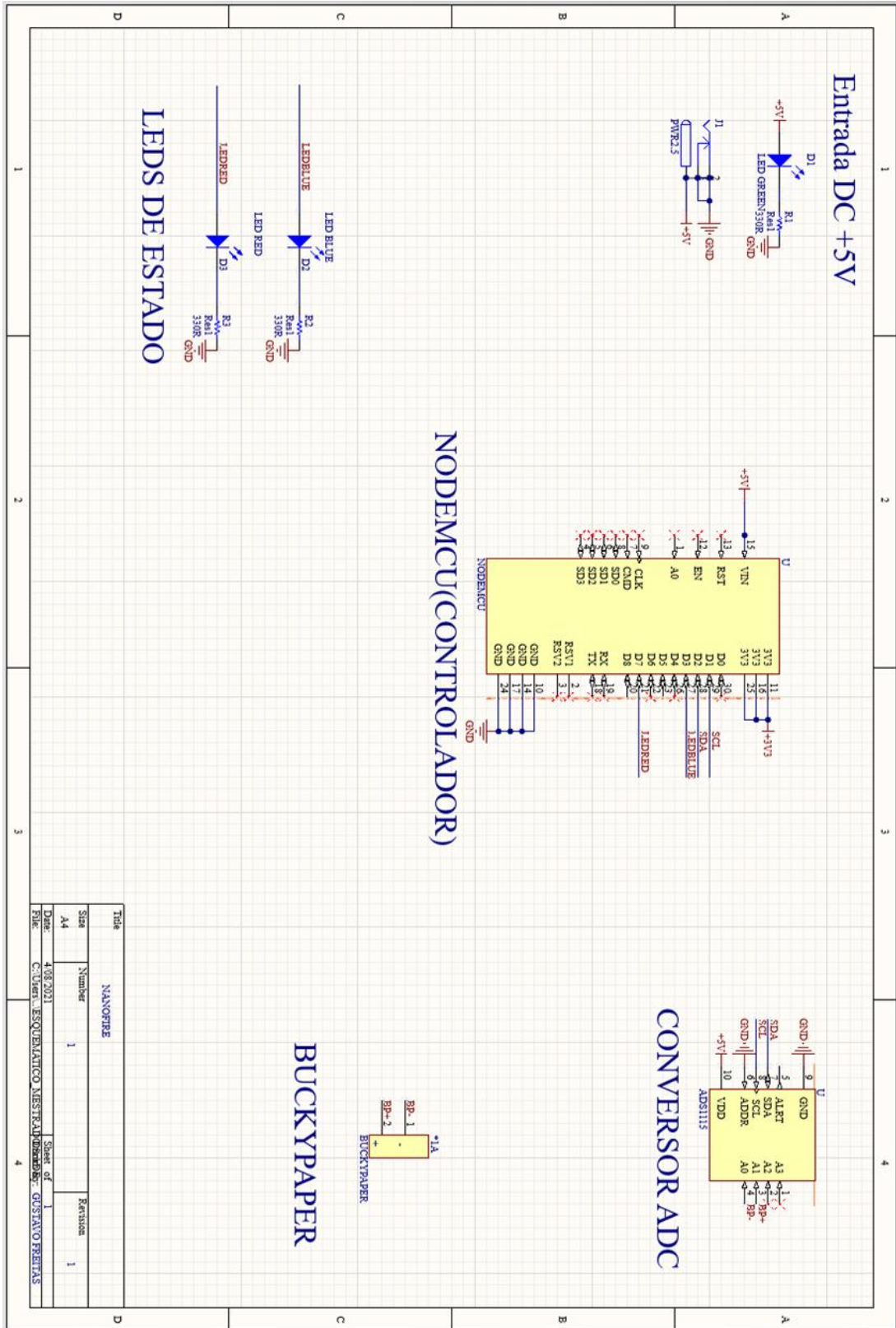
ZARBIN, A. J.; OLIVEIRA, M. M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis? **Química Nova**, 36, n. 10, p. 1533-1539, 2013.

ZHANG, J.; JIANG, D.; PENG, H. A pressurized filtration technique for fabricating carbon nanotube buckypaper: Structure, mechanical and conductive properties. **Microporous and mesoporous materials**, v. 184, p. 127-133, 2014.

ZHANG, J.; JIANG, D. Influence of geometries of multi-walled carbon nanotubes on the pore structures of Buckypaper. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 43, n. 3, p. 469-474, 2012.

ANEXO I

ESQUEMÁTICO ELETRÔNICO DO PROJETO DE PCB



Title		NANOFIRE	
Size	Number	1	Revision
A4			1
Date	4/08/2021	Sheet of	1
File	C:\Users\GUSTAVO FERREIRA\Desktop\ESQUEMATICO NESTER\ANEXO I		

ANEXO II

PEDIDO DE PATENTE



Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2021 010282 9

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 34621748000123

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Av. Augusto Correa n. 1 Cidade Universitaria José da Silveira Netto, Guamá

Cidade: Belém

Estado: PA

CEP: 66075-110

País: Brasil

Telefone: (91) 3201-7258

Fax: (91) 3201-7258

Email: spi@ufpa.br

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): MULTISENSOR NANOESTRUTURADO CONSTITUÍDO DE FIBRAS DE CELULOSE E NANOTUBOS DE CARBONO, PROCESSO PARA SUA OBTENÇÃO E SEU USO EM INTERNET DAS COISAS

Resumo: MULTISENSOR NANOESTRUTURADO CONSTITUÍDO DE FIBRAS DE CELULOSE E NANOTUBOS DE CARBONO, PROCESSO PARA SUA OBTENÇÃO E SEU USO EM INTERNET DAS COISAS

A presente invenção se refere a um multisensor nanoestruturado (1) constituído por fibras micrométricas vegetais (2) impregnadas por Nanotubos de Carbono de Paredes Múltiplas funcionalizados por carboxilas – NTCPM-COOH (3) e distribuídos na superfície (4) e na parte interna (5) da folha nanoestruturada, que apresenta respostas elétricas para variação de temperatura, álcool etílico e vinho tinto, isoladamente ou simultaneamente de forma seletiva. A presente invenção opera como dispositivo de Internet das Coisas – IoT ao ser integrado com módulo eletrônico WiFi (6) para a transmissão/recepção dados (7) a um servidor em nuvem conectado à internet (8), que os transmite (9) para um usuário final com aplicativo em celular (10). O multisensor nanoestruturado é produzido pelo processo de filtração a vácuo de uma solução ultrasonificada de NTCPM-COOH e isopropanol na concentração de 1:1 em papel filtro celulósico. Assim, o processo para obtenção deste multisensor se configura de baixo custo, reproduzível e escalável.

Figura a publicar: 7