

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
Programa de Pós-Graduação em
Computação Aplicada

Dissertação de Mestrado

**UM APLICATIVO PARA GERAR
RECOMENDAÇÕES E ALERTAS
SOBRE A QUALIDADE DO AR EM
UM SMART CAMPUS**

PABLO LEON RODRIGUES



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

**UM APLICATIVO PARA GERAR
RECOMENDAÇÕES E ALERTAS SOBRE A
QUALIDADE DO AR EM UM SMART
CAMPUS**

Pablo Leon Rodrigues

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada na Universidade de Passo Fundo.

Orientador: Prof. Roberto dos Santos Rabello

Coorientador: Prof. Cristiano Roberto Cervi

Passo Fundo

2020

CIP – Catalogação na Publicação

R696a Rodrigues, Pablo Leon
Um aplicativo para gerar recomendações e alertas sobre a qualidade do ar em um smart campus [recurso eletrônico] / Pablo Leon Rodrigues. – 2020.
3.9 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Roberto dos Santos Rabello.
Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Roberto Cervi.
Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Universidade de Passo Fundo, 2020.

1. Aplicativos móveis. 2. Ar - Controle de qualidade. 3. Ar - Poluição. 4. Protocolo LoRaWAN. 5. Aprendizado de máquinas. I. Rabello, Roberto dos Santos, orientador. II. Cervi, Cristiano Roberto, coorientador. III. Título.


CDU: 004.41

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569


ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO ACADÊMICO

PABLO LEON RODRIGUES

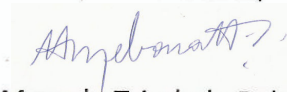
Aos trinta e um dias do mês de março do ano de dois mil e vinte, às quatorze horas, realizou-se, no prédio D1 sala 01, da Universidade de Passo Fundo (UPF), a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso "Um aplicativo para gerar recomendações e alertas sobre a qualidade do ar em um smart campus", de autoria do acadêmico **PABLO LEON RODRIGUES** do Curso de Mestrado em Computação Aplicada do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada – PPGCA. Segundo as informações prestadas pelo Conselho de Pós-Graduação e constantes nos arquivos da Secretaria do PPGCA, o aluno preencheu os requisitos necessários para submeter seu trabalho à avaliação. A banca examinadora foi composta pelos doutores Roberto dos Santos Rabello, Cristiano Roberto Cervi, Marcelo Trindade Rebonatto, e Regiane Relva Romano. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a banca examinadora considerou o candidato Aprovado. Foi concedido o prazo de até quarenta e cinco (45) dias, conforme Regimento do PPGCA, para o acadêmico apresentar ao Conselho de Pós-Graduação o trabalho em sua redação definitiva, a fim de que sejam feitos os encaminhamentos necessários à emissão do Diploma de Mestre em Computação Aplicada. Para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da banca examinadora e pela Coordenação do PPGCA.




Prof. Dr. Roberto dos Santos Rabello– UPF
Presidente da Banca Examinadora
(Orientador)




Prof. Dr. Cristiano Roberto Cervi– UPF
(Coorientador)



Prof. Dr. Marcelo Trindade Rebonatto – UPF
(Avaliador Interno)



Prof. Dra. Regiane Relva Romano -FACENS
(Avaliadora Externa)



Prof. Dr. Rafael Rieder
Coordenador do PPGCA

UM APLICATIVO PARA GERAR RECOMENDAÇÕES E ALERTAS SOBRE A QUALIDADE DO AR EM UM SMART CAMPUS

RESUMO

O aumento da população em áreas urbanas demanda um crescimento na utilização dos serviços básicos das cidades como consumo de energia e no tráfego de automóveis. Como consequência, o consumo de energia através de fontes não renováveis como combustíveis fósseis também aumenta, assim como a poluição gerada por processos industriais e queimadas, colaborando para a poluição atmosférica. A Organização Mundial de Saúde estima que 4,2 milhões de mortes por ano são decorrência da exposição a gases poluentes no meio ambiente e que 91% da população mundial vive em áreas onde a poluição do ar excede os limites aceitáveis. O monitoramento da qualidade do ar no Brasil é feita em parte por órgãos estaduais, não existindo hoje uma ampla cobertura do monitoramento. Informações mais amplas são obtidas durante o censo que ocorre a cada dez anos realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, para o próximo censo a ser realizado em 2020 o custo estimado é de aproximadamente três bilhões de reais. Dados esses fatos, surge a necessidade de monitorar o ambiente em que vivemos de forma constante. Através da utilização de uma rede de baixo custo para coleta de dados obtidos no monitoramento da qualidade do ar dentro de um campus universitário, o trabalho apresentado propõe a utilização de um aplicativo móvel voltado para comunidade acadêmica apresentando informações, recomendações e alertas sobre a qualidade do ar no campus a fim de minimizar a exposição e permanência em ambientes onde a poluição do ar se torna nociva à saúde.

Palavras-Chave: smart cities, sistemas de recomendação, alertas, LoRaWan, aprendizado de máquina, qualidade do ar, poluição do ar.

AN APPLICATION TO GENERATE AIR QUALITY RECOMMENDATIONS AND ALERTS ON A SMART CAMPUS

ABSTRACT

The population increase in urban areas demands an increase of basic services in cities such as energy consumption and increased traffic. As a consequence, energy consumption through non-renewable sources such as fossil fuels also increases, as does the pollution generated by industrial and burning processes, contributing to air pollution. The World Health Organization estimates that 4.2 million deaths per year are due to exposure to polluting gases in the environment and that 91 % of the world population lives in areas where air pollution exceeds acceptable limits. The monitoring of air quality in Brazil is done in part by state agencies, and there is currently no comprehensive monitoring coverage. Information is obtained during the census that occurs every ten years conducted by the Brazilian Institute of Geography and Statistics, for the next census to be conducted in 2020 the estimated cost is approximately three billion reais. Given these facts, the need arises to constantly monitor the environment in which we live. Through the use of a low-cost network to collect data obtained from monitoring air quality within a university campus, the work presented proposes the development of a mobile application aimed at the academic community presenting information, recommendations and alerts on the quality of the on-campus air to minimize exposure and permanence in environments where air pollution becomes harmful to health.

Keywords: smart cities, recommendation systems, alerts, LoRaWan, machine learning, air quality, air pollution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	IBM, abrangência de uma <i>smart city</i>	16
Figura 2.	Visão geral do fluxo de atividades, Fonte: Autor	21
Figura 3.	Arquitetura utilizada por Manchini (Manchini [11])	23
Figura 4.	Gateway, Fonte: Autor	24
Figura 5.	Sensores instalados (Manchini [11])	25
Figura 6.	Estação do centro de convivência, Fonte: Autor	25
Figura 7.	Estação da parada do diretório central de estudantes, Fonte: Autor	26
Figura 8.	Conexão com a rede TTN	27
Figura 9.	Arquitetura atual, Fonte: Autor	28
Figura 10.	Tela de login do sistema, Fonte: Autor	29
Figura 11.	Tela inicial do sistema, Fonte: Autor	30
Figura 12.	Informações do Perfil do Usuário, Fonte: Autor	30
Figura 13.	Menu lateral, Fonte: Autor	31
Figura 14.	Tela de perfil do usuário, Fonte: Autor	31
Figura 15.	Exemplo de Recomendação, Fonte: Autor	33
Figura 16.	Alerta, Fonte: Autor	34
Figura 17.	Formulário de avaliação, Fonte: Autor	36
Figura 18.	Resultado Pergunta 1	38
Figura 19.	Resultado Pergunta 2	38
Figura 20.	Resultado Pergunta 3	39
Figura 21.	Resultado Pergunta 4	39
Figura 22.	Resultado Pergunta 5	39
Figura 23.	Resultado Pergunta 6	40
Figura 24.	Resultado Pergunta 7	40
Figura 25.	Avaliação Funcional	41
Figura 26.	Resultado Pergunta 8	41
Figura 27.	Resultado Pergunta 9	42
Figura 28.	Resultado Pergunta 10	42
Figura 29.	Resultado Pergunta 11	42
Figura 30.	Resultado Pergunta 12	43
Figura 31.	Resultado Pergunta 13	43

Figura 32. Resultado Pergunta 14 43
Figura 33. Resultado Pergunta 15 44
Figura 34. Resultado Pergunta 16 44
Figura 35. Resultado Pergunta 17 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Principais poluentes atmosféricos, suas origens e efeitos.	14
Tabela 2.	Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 03/1990.	14
Tabela 3.	Índice de Qualidade do Ar.	15
Tabela 4.	Pontos por pergunta	37

LISTA DE SIGLAS

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

UPF – Universidade de Passo Fundo

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental

IQAR – Índice de Qualidade do Ar

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

ICT – Tecnologia da Informação e Comunicação

IBM – *International Business Machines*

LPWAN – *Low Power Wide Area Network*

PRONAR – Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar

PROCONVE – Programa de Controle da Poluição por Veículos Automotores

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

TTN – The Things Network

PPGCA – Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada

ICEG – Instituto de Ciências Exatas e Geociências

REST – Representational State Transfer

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	QUALIDADE DO AR	13
2.1.1	Poluentes Atmosféricos	13
2.1.2	Padrões de Qualidade do Ar	13
2.1.3	Índice da Qualidade do Ar	14
2.2	SMART CITIES	15
2.2.1	Smart Campus	17
2.3	LORAWAN	18
2.4	SISTEMAS DE RECOMENDAÇÃO	19
2.4.1	Perfil de usuário	19
2.4.2	Filtragem Colaborativa	20
2.4.3	Filtragem baseada em Conteúdo	20
2.5	METODOLOGIA	20
3	DESENVOLVIMENTO	23
3.1	MANUTENÇÃO DA ARQUITETURA	23
3.1.1	Gateway	24
3.1.2	Server	26
3.2	APLICATIVO MOBILE	28
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	35
4.1	EXPERIMENTO	35
4.1.1	Avaliação Funcional	35
4.1.2	Avaliação da usabilidade	36
4.2	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

A relação entre a poluição do ar e a saúde vem sendo amplamente discutida em diversos estudos nos últimos 30 anos, sendo que a exposição a gases poluentes é associada ao aumento da mortalidade e de admissões em hospitais devido a doenças respiratórias e cardiovasculares [1].

A presença desses gases em lugares com grandes concentrações populacionais e outros fatores ambientais como baixa umidade do ar podem resultar em doenças na população exposta com efeitos de longo e curto prazo, como rinoconjuntivite, irritação nas mucosas do nariz e dos olhos, irritação na garganta e problemas respiratórios a curto prazo [2] [3], e no longo prazo, diminuição da qualidade de vida, desenvolvimento de cardiopatias e de doenças do trato respiratório como bronquite, enfisema e asma [4] [5].

A emissão de gases poluentes no meio ambiente ocorre diariamente podendo suas fontes serem divididas em três categorias principais sendo denominadas, fixas, móveis e agrossilvipastoris. As fontes fixas são indústrias, aterros, geradores de energia que utilizam combustíveis fósseis e termoelétricas. As fontes móveis têm origem em meios de transporte em geral proveniente da queima de combustíveis fósseis em motocicletas e automóveis. As fontes agrossilvipastoris têm origem na agricultura, queimadas, desmatamento, atividade vulcânica e tempestades de areia [6] [7].

Iniciativas como Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR) e o Programa de Controle da Poluição por Veículos Automotores (PROCONVE), foram criados com o objetivo controlar e melhorar a qualidade do ar no País. Informações sobre as emissões de gases são coletadas durante o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), um processo de alto custo e que demanda tempo e mão de obra, sendo estimado um custo de três bilhões de reais para a realização em 2020. Devido esse alto preço o processo só ocorre de dez em dez anos realizado pelo IBGE [8].

Pensando na cidade em um contexto amplo, é possível identificar vias de trânsito, saneamento, indústrias, comércios e residências, e o mais importante sua população. Um campus universitário pode ser utilizado como uma estrutura que reproduz um micro território provendo a estrutura completa de uma cidade, o que facilita a experimentação, de certa forma transformando o escopo de uma *smart city* em um *smart campus*. Dentro do conceito de *smart campus* são sugeridas áreas distintas de inteligência como: infraestrutura, ensino, gestão, saúde e serviços [9] [10]. A área que compete a saúde, prima por monitorar e melhorar aspectos relacionados a qualidade de vida e saúde dos usuários do campus, associado a iniciativas ecológicas para manter um ambiente saudável.

Na Universidade de Passo Fundo (UPF) é desenvolvido o projeto de extensão "Cidades Inteligentes: tecnologia e inovação para o bem-estar do cidadão", onde os acadê-

micos constroem projetos ligados a cidades inteligentes e fazem testes no próprio campus. No trabalho desenvolvido por Manchini [11] sobre a utilização de rede LPWan para *smart cities*, foram instalados sensores em determinados pontos do campus para monitoramento constante de gases nocivos a saúde e ao meio ambiente como: dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e monóxido de carbono (CO). Os dados obtidos pelos sensores em determinados intervalos de tempo são coletados através de uma rede LoRaWan e recebidos através de um *gateway*, depois foram enviados por TCP/Ip e então armazenados, dando início a uma base de dados atmosféricos para a universidade. Paralelamente a isso, Mazutti [12] desenvolveu um estudo sobre a importância do monitoramento do ar na construção de um *smart e learning* campus.

Através do monitoramento dos gases poluentes é possível tomar decisões visando melhorar a qualidade de vida dos usuários do campus, dentre os objetivos do aplicativo é possível destacar a importância de fornecer informações, sobre a temperatura e umidade do ar e sobre as emissões de gases poluentes nos locais monitorados, gerar recomendações necessárias para fornecer segurança aos usuários, criar um canal de comunicação entre a administração do campus e a comunidade acadêmica e disseminar conhecimento sobre os gases poluentes, suas origens, riscos à saúde e iniciativas para diminuir suas emissões.

Em diversas etapas do desenvolvimento foram identificadas paradas de funcionamento da rede de monitoramento desenvolvida por Manchini [11] utilizada para coletar os dados, sendo necessário reestruturar a arquitetura original. Com base nos dados coletados por Manchini é possível fornecer informações, recomendações e alertas relevantes para a gestão do campus e para a comunidade acadêmica. No projeto proposto foi desenvolvido um aplicativo para apresentar essas informações em tempo de execução, para os usuários através de um aplicativo móvel, dando continuidade aos projetos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O aumento da quantidade de pessoas vivendo em áreas urbanas superou a quantidade de pessoas vivendo em áreas rurais por volta de 2009, sendo 3,42 bilhões em áreas urbanas e 3,41 bilhões em áreas rurais, mantendo uma estimativa de que por volta de 2050 a população urbana chegue a 6,3 bilhões enquanto em zonas rurais fique em torno de 2,9 bilhões.[13]. Esse crescimento porém não é organizado, sem uma infraestrutura preparada para tal a demanda por mobilidade e energia assim como outras necessidades também aumenta, sendo a queima de combustível fóssil tanto para geração de energia quanto para utilização em veículos, um fator que eleva os níveis de poluição do ar [7].

2.1 QUALIDADE DO AR

No que confere a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei nº 6.938 de 1981 e na Resolução CONAMA Nº 03/1990 (Conselho Nacional do Meio Ambiente)[14], é definido por poluição atmosférica qualquer atividade que lance na atmosfera matéria ou energia fora dos padrões ambientais e torne o ar impróprio para a saúde humana, flora ou fauna [15].

2.1.1 Poluentes Atmosféricos

De acordo com Boubel [7] os poluentes podem ser classificados como primários e secundários, sendo os primários produtos das fontes de poluição, já os secundários são gerados a partir das reações químicas entre os poluentes primários e gases presentes na atmosfera. A Tabela 1 desenvolvida por Mazutti [12] demonstra a relação entre alguns dos principais poluentes atmosféricos, suas origens e efeitos gerais sobre a saúde e meio ambiente.

2.1.2 Padrões de Qualidade do Ar

A Resolução CONAMA Nº 03/1990 [14] estabelece padrões de qualidade do ar, onde padrão primário é o nível máximo em que um determinado poluente pode ser encontrado na atmosfera antes de ter efeitos a saúde humana ou ao meio ambiente, e padrão secundário constitui a concentração em que os poluentes pode ser encontrados na atmosfera sem causar efeitos nocivos. A Tabela 2 exemplifica os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 03/1990.

Tabela 1. Principais poluentes atmosféricos, suas origens e efeitos [12].

Poluente	Origem	Efeitos gerais sobre a saúde e meio ambiente
Dióxido de Enxofre (SO₂)	<i>Primária.</i> Queima de combustíveis originários de petróleo como gasolina, diesel e querosene.	Irritação ocular e aumento do risco de doenças respiratórias crônicas e agudas.
Monóxido de Carbono (CO)	<i>Primária.</i> Combustões incompletas. Queimadas, escapamento de veículos.	Dores de cabeça, redução da capacidade de circulação de oxigênio pelas hemácias podendo levar à perda de consciência e de visão.
Óxidos de Nitrogênio (NOx)	<i>Primária.</i> Queima de combustíveis (diesel, gasolina) em altas temperaturas. <i>Secundária.</i> Oxidação do monóxido de nitrogênio (NO).	Aumenta a susceptibilidade à doenças respiratórias. Chuva ácida.
Ozônio (O₃)	<i>Secundária.</i> Decomposição de óxidos de nitrogênio (NOx) pela radiação solar ultravioleta.	Dano às funções pulmonares, irritação da mucosa nasal e dano à materiais devido à propriedade oxidativa.
Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)	<i>Secundária.</i> Reação entre a oxidação do dióxido de enxofre (SO ₂) com as gotículas de água da atmosfera.	Chuva ácida, irritações nas mucosas nasais e oculares.

Tabela 2. Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 03/1990 [14].

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário	Padrão secundário
Partículas totais em suspensão	24h *	240($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	MGA	80($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	60($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas inaláveis	24h *	150($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	MAA	50($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ozônio (O₃)	1h *	160($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	160($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Monóxido de Carbono (CO)	1h *	35 ppm	35 ppm
	8h *	9 ppm	9 ppm
Dióxido de Nitrogênio (NO₂)	1h	320($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	190($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	MAA	100($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de Enxofre (SO₂)	24h *	365($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	MAA	80($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

* Não deve exceder mais de uma vez ao ano.

MAA: Média Aritmética Anual

MGA: Média Geométrica Anual

ppm: Partes por milhão

($\mu\text{g}/\text{m}^3$): Micrograma por metro cúbico

2.1.3 Índice da Qualidade do Ar

No estado do Rio Grande do Sul, o Índice da Qualidade do Ar (IQA_r) é estabelecido pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) [16] com base na definição

proposta pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA)[17], estabelecendo níveis de atenção, alerta e emergência referentes a qualidade do ar. Esse índice tem por objetivo principal informar a população sobre os níveis de qualidade do ar local em relação a poluentes atmosféricos amostrados em estações de monitoramento, atendendo aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 03/1990. A Tabela 3 exemplifica o índice de qualidade do ar de acordo com a FEPAM.

Tabela 3. Índice de Qualidade do Ar FEPAM [16].

Qualidade	Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
Índice	0 - 50	51 - 100	101 - 199	200 - 299	300 - 399	≥ 400
Níveis de Cautela	Seguro à Saúde	Tolerável	Insalubre para Grupos Sensíveis	Muito Insalubre	Perigoso	Muito Perigoso
PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0 - 80	81 - 240	241 - 374	375 - 624	625 - 874	≥875
PI10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0 - 50	51 - 150	151 - 249	250 - 419	420 - 499	≥500
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0 - 100	101 - 365	366 - 799	800 - 1599	1600 - 2099	≥2100
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0 - 190	191 - 320	321 - 1129	1130 - 2259	2260 - 2999	≥3000
CO (ppm)	0 - 4,5	4,6 - 9,0	9,1 - 14,9	15,0 - 29,9	30,0 - 39,9	≥40
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0 - 80	81 - 160	161 - 399	400 - 799	800 - 999	≥1000

PTS: Partículas totais em suspensão

PI10: Partículas inaláveis

Com base no IQAr e através do monitoramento de poluentes em tempo real é possível identificar riscos e tomar decisões visando melhorar a qualidade de vida da população.

2.2 SMART CITIES

As *Smart cities* ou Cidades Inteligentes vem ganhando espaço em diversas áreas de pesquisa, saindo do papel e sendo implementadas ao redor do mundo nos mais diferentes aspectos, agindo como solução para problemas de: mobilidade, segurança, saúde e sustentabilidade através da Tecnologia da Informação e Comunicação (ICT)[18] [19].

A solução da IBM para *Smart City*[20] divide o foco em 3 áreas de ação: Planejamento e Gestão, Infraestrutura e Pessoas(Figura1). O foco em Planejamento e Gestão busca prover melhorias nos serviços de segurança, administração, planejamento, operações e construções. O foco na Infraestrutura é direcionado aos serviços fundamentais da cidade como mobilidade e no consumo de recursos como água e energia. Enquanto o foco nas pessoas é direcionado na educação, programas sociais e no cuidado com a saúde

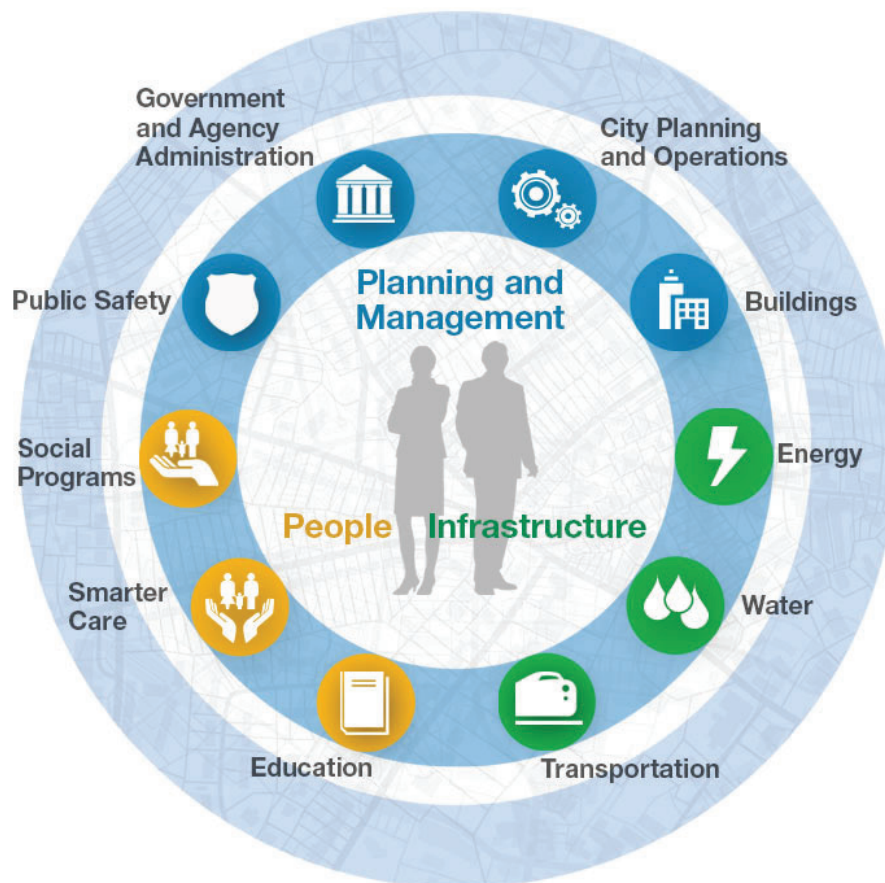


Figura 1. IBM, abrangência de uma *smart city*

Para Berst[18] os fatores que tornam uma cidade inteligente são: instrumentação e controle, conectividade, interoperabilidade, segurança e privacidade, gestão de dados, recursos computacionais e análise.

- Instrumentação e controle é como a cidade monitora e gerencia fatores referentes à cidade, por exemplo medidores de gasto de energia, gás, qualidade do ar, circuitos fechados de vídeo, tv e trânsito, alarmes de incêndio e demais sensores que forneçam informações sensíveis ao funcionamento da cidade.
- Conectividade trata sobre a comunicação de toda a instrumentação que a cidade possui e sobre como esses dispositivos se comunicam e interagem com o controle da cidade, como redes WiFi, redes LoRaWan ou redes de celulares.
- A interoperabilidade garante a compatibilidade de produtos de diversos fabricantes para que trabalhem em conjunto perfeitamente, podendo compartilhar informações entre si ou com uma central de dados, é essencial garantir que a cidade não fique atrelada a um único fornecedor.
- Segurança e privacidade engloba tecnologias, políticas e práticas para manter em segurança os dados e dispositivos que são recursos para a cidade, dentre as medidas

existem regras claras sobre a privacidade dos dados gerenciados pela cidade, é necessário construir uma confiança entre a cidade e sua população, sem isso, a cidade pode ter dificuldade em implementar novas tecnologias e práticas.

- Gestão de dados é a capacidade de processar, armazenar, proteger e disponibilizar dados garantindo sua precisão, acessibilidade e integridade, mantendo o valor dos dados para a cidade e sua população.
- Recursos computacionais são ferramentas que geram ou interpretam dados importantes para a cidade, software que desempenhe algum papel, servidores ou dados.
- Análise é responsável para gerar valor a partir dos dados coletados, previsões meteorológicas, controle da poluição, identificação de padrões de trânsito, análise do uso de energia e análise de dados obtidos para gerar previsões nas mais diversas áreas.

O conceito de *smart city* pode ser implementado em qualquer cidade existente. Porém, quando desenhada desde a planta obtém-se resultados impactantes, como é o caso da *smart city* Laguna [21], uma cidade projetada para 25 mil pessoas. Partindo de um investimento privado ítalo-britânico de 50 milhões de dólares, o projeto visa desenvolver a primeira Cidade Inteligente Social do mundo. As soluções previstas incluem, rede elétrica subterrânea, WiFi, sistema de videomonitoramento, sistemas para a segurança da cidade, iluminação pública inteligente, pavimentação amigável ecologicamente e ciclovias em toda a cidade. O projeto ainda está em desenvolvimento tendo entregue a primeira etapa de construção em 2018.

2.2.1 Smart Campus

O conceito *Smart Campus* é originado na *smart city*, podendo ser interpretado como uma cidade em menor escala, enfrentando diversos problemas e desafios que uma cidade enfrenta diariamente porém, normalmente em escala menor. Questões como segurança, transporte, qualidade de vida, uso consciente de energia e de recursos naturais são abordados dentro do *Smart Campus*. Ferreira e Araujo[9] definem o *Smart Campus* como:

um ecossistema colaborativo, enriquecido com tecnologia, com capacidade de responder rapidamente às demandas dos interessados, visando o aumento da qualidade de vida no Campus, a entrega de valor e o equilíbrio de interesses. (p. 13).

Pensando na cidade em um contexto amplo é possível identificar, vias de trânsito, saneamento, indústrias, comércios e residências, e o mais importante, sua população. Um campus universitário pode ser utilizado como uma estrutura que reproduz um micro território provendo a estrutura completa de uma cidade, o que facilita a experimentação, de certa forma transformando o escopo de uma *smart city* em um *smart campus*. Dentro do conceito de *smart campus* são sugeridas áreas distintas de inteligência como: infraestrutura, ensino,

gestão, saúde e serviços [9] [10]. A área que compete a saúde, prima por monitorar e melhorar aspectos relacionados a qualidade de vida e saúde dos usuários do campus, associado a iniciativas ecológicas para manter um ambiente saudável.

No trabalho desenvolvido por Widya [22], a utilização de Internet das Coisas (*Internet of Things, IOT*) é aplicada em diferentes partes da infraestrutura do *smart campus* como, educação, estacionamento e salas de aula, utilizando IOT como solução para integrar *hardware* e *software*.

A aplicação OnCampus desenvolvida por Dong [23] fornece uma ferramenta de integração entre grupos de usuários, utilizando mineração de dados para obter as preferências dos usuários criando um novo algoritmo de recomendação para o sistema de vendas do aplicativo.

O *smart campus* Facens é uma iniciativa da Faculdade de Sorocaba, de acordo com Pinto[24] os projetos são agrupados em nove áreas de interesse, educação, energia, indústria e negócios, meio ambiente, mobilidade e segurança, saúde e qualidade de vida, TIC, urbanização e núcleo facilitador, integrando diversas áreas de conhecimento construindo um projeto multidisciplinar.

Mesmo estando relacionada ao uso das tecnologias da informação e comunicação, a implementação do *smart campus* deve estar alinhada com a gestão do campus e com todas as áreas envolvidas, através de planejamento para atender as necessidades de cada área de interesse e incentivar novas soluções para o campus.

2.3 LORAWAN

LoRaWan é a abreviação de *Long Range Wide Area Network*, sendo um tipo de *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), uma rede de baixo consumo de energia e longo alcance, com comunicação bidirecional, móvel e com serviço de localização, normalmente implementada utilizando topologia estrela. A comunicação de dados é realizada através da utilização de faixas de frequência de rádio e taxa de dados definidas, dessa forma diferentes dispositivos podem enviar dados em diferentes frequências. A LoRaWan utiliza um *gateway* para comunicação entre os dispositivos e o servidor da rede.

Com um padrão aberto definido e certificado pela LoRa *Alliance*[25], que permite a utilização para desenvolvimento de módulos como sensores ou dispositivos, ela também define as faixas de frequência a serem utilizadas em cada continente, de forma que não corra interferência com a comunicação de dispositivos críticos. No Brasil a Agência Nacional de Telecomunicação (ANATEL) é responsável pelo cadastramento de faixas de frequência restritas.

A LoRa *Alliance* categoriza os dispositivos em diferentes classes para endereçar diferentes necessidades:

- **Classe A:** É a classe padrão que deve ser suportada por todos os dispositivos LoRaWan, mantendo comunicação assíncrona, bidirecional, podendo enviar comandos de controle da rede se necessário. O dispositivo pode entrar em estado de baixo consumo programando comandos de *wake-up* sem necessidade de rede para tanto, o que torna essa classe de dispositivos a que tem o menor consumo de energia.
- **Classe B:** Além das características da classe A, a classe B pode receber mensagens sincronizadas de tempo em tempo, indicando o horário em que o dispositivo estará ouvindo, aumentando um pouco o consumo de energia se comparado com a classe A.
- **Classe C:** Possui as mesmas características da classe A, mas tem a capacidade de receber mensagens a qualquer momento.

2.4 SISTEMAS DE RECOMENDAÇÃO

Sistemas de recomendação podem ser definidos como um estratégia para tomar decisões para o usuário de acordo com uma grande quantidade de informações [26]. Os sistemas de recomendação utilizados em *e-commerces*, por exemplo, beneficiam tanto o comprador quanto o vendedor, várias vezes ajudando o comprador a escolher a opção que mais lhe agrada ou complementando uma compra e possibilitando uma visão maior dos produtos oferecidos pelo vendedor [27] [28]. Para gerar uma recomendação é necessário conhecer o usuário ou os produtos nos quais o usuário tem interesse criando-se um perfil para este.

2.4.1 Perfil de usuário

A utilização de perfis de usuários tem sido objeto de estudo tanto no campo acadêmico como em setores aplicados da indústria e comércio. A aplicação destes conceitos ocorre pelo uso de sistemas e métodos em diferentes áreas de aplicação, como a detecção de produtos que representam interesses do usuário, ou a detecção de pesquisadores para criar uma rede de colaboração científica, recomendação de serviços e outros.

De acordo com Cervi [29] a área responsável por determinar o perfil do usuário é denominada modelagem de usuários, tem como objetivo descobrir informações sobre o usuário em determinado tópico e como representar essas informações. Vários sistemas e métodos têm sido propostos para modelar o perfil de usuários, tal como exposto por Cervi [30], Fink e Kobsa [31], Gauch [32] e Maia, Almeida e Almeida [33]. Detectar e modelar o perfil de uma pessoa pode ser interpretado como responder a um questionário, que irá guiá-lo a fornecer informações pessoais sobre o contexto que se deseja definir

o seu perfil. Esse processo é chamado de modelagem explícita [34]. Porém, uma vez que, na maioria das áreas de domínio um questionário ou outra forma de consulta que permita modelar as informações sobre uma pessoa, precisaria ser extremamente extenso e complexo, demandando muito tempo e se tornando uma tarefa exaustiva para quem está respondendo os questionamentos.

A partir dessa constatação, surgiu um novo método de definição automática do perfil denominada modelagem implícita [34]. Este método se baseia em analisar o comportamento da pessoa através de sua navegação em páginas web, compras online, publicações científicas, número de referências a estas publicações, dentre diversas outras formas, criando um modelo de perfil baseado em comportamento [35], esse modelo utiliza *web mining* para analisar as preferências do usuário e descobrir padrões que possam gerar informações sobre este.

2.4.2 Filtragem Colaborativa

Na filtragem colaborativa, o perfil de dois ou mais usuários são comparados, identificando padrões e similaridades entre os dois usuários. Uma vez que um item possui relação entre os usuários é gerada uma recomendação. Outros itens que compartilham características com os itens similares entre os usuários, também podem gerar uma recomendação. Esse conceito é utilizado para gerar recomendações de filmes, músicas, eventos.

2.4.3 Filtragem baseada em Conteúdo

A filtragem baseada em conteúdo realiza a comparação entre o conteúdo ou descrição de um produto, serviço ou informação e utiliza a similaridade entre esses itens para indicar uma recomendação [36]. Podem ser utilizados metadados como *tags*, categorias e outros identificadores para fazer a comparação. Quando o usuário consome um produto o sistema armazena as características desse produto, para então comparar com outros produtos e identificar similaridades, utilizando a definição de que se um usuário gostou de um determinado produto ele tende a gostar de um produto similar.

2.5 METODOLOGIA

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica dos temas gerais abordados, *Smart Cities*, *Smart Campus*, Redes LoRaWan, Qualidade do Ar, Sistemas de Recomendação e Alertas, compreendendo livros, artigos de periódicos e relatórios técnicos. Realizada a revisão, será efetuada a análise dos dados coletados e definida a forma de como será gerada a recomendação e representadas as informações dentro do contexto de um aplica-

tivo móvel. O desenvolvimento do projeto foi dividido em três etapas, pesquisa, análise e desenvolvimento. Uma visão geral está exemplificada no fluxo de atividades na Figura 2.

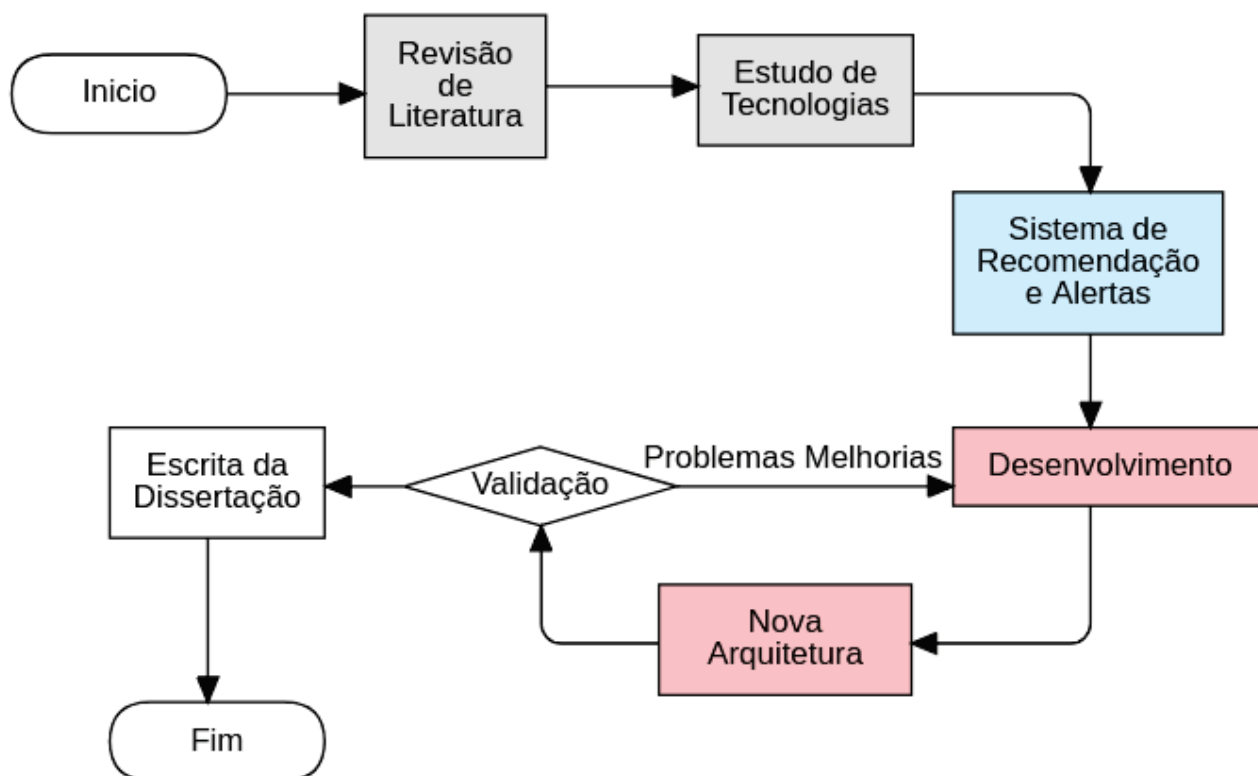


Figura 2. Visão geral do fluxo de atividades, Fonte: Autor

Durante a primeira etapa foi desenvolvida uma pesquisa aprofundada das tecnologias utilizadas e realizada uma revisão bibliográfica das abordagens existentes, delimitando a abrangência do estudo e o desenvolvimento do aplicativo. Durante a mesma foi desenvolvido um protótipo para validação em conjunto com a área de Engenharia Ambiental e definindo as recomendações e alertas cabíveis.

O trabalho desenvolvido por Manchini [11] para utilizar sensores de baixo custo em diferentes locais do Campus através de uma rede LoraWan para obter dados sobre a qualidade do ar, temperatura e umidade, coletou dados durante um período de aproximadamente seis meses.

Durante a etapa de desenvolvimento, foram identificados problemas na arquitetura existente, sendo necessário remodelar a mesma para continuar o desenvolvimento. Após reestabelecer o funcionamento dos serviços a proposta foi consolidada em um aplicativo mobile resultado da etapa anterior.

Utilizando a tecnologia criada pelo Google para desenvolvimento multiplataforma Flutter para o aplicativo e aproveitando a base de dados existente obtida através do trabalho desenvolvido por Manchin.

O usuário do sistema ou o administrador pode visualizar em tempo de execução de acordo com a localização dos sensores, informações sobre a qualidade do ar, temperatura e umidade do ar, recebendo informações, recomendações e alertas de acordo com os dados coletados e com o perfil do usuário.

3. DESENVOLVIMENTO

O aplicativo proposto tem por objetivo atender a população do campus, esta possui perfis distintos com características diversas. Através dos dados obtidos pelas estações de monitoramento e da identificação do perfil do usuário, o aplicativo interpreta os dados e efetua a recomendação.

3.1 MANUTENÇÃO DA ARQUITETURA

Durante o desenvolvimento da pesquisa, o sistema teve algumas paradas inesperadas de funcionamento, foi identificado que o serviço Rednode utilizado por Manchini responsável por armazenar os dados e a plataforma IBM Bluemix de cloud executavam em versões trial, e ao expirar deixaram de funcionar corretamente.

Para ter uma estrutura funcional do sistema desenvolvido por Manchini foi necessário remodelar a arquitetura utilizada por ele, substituindo a camada de persistência de dados e a forma de acesso aos dados armazenados.

A Figura 3 mostra o diagrama de implantação utilizado por Manchini [11], que exemplifica a arquitetura por ele utilizada.

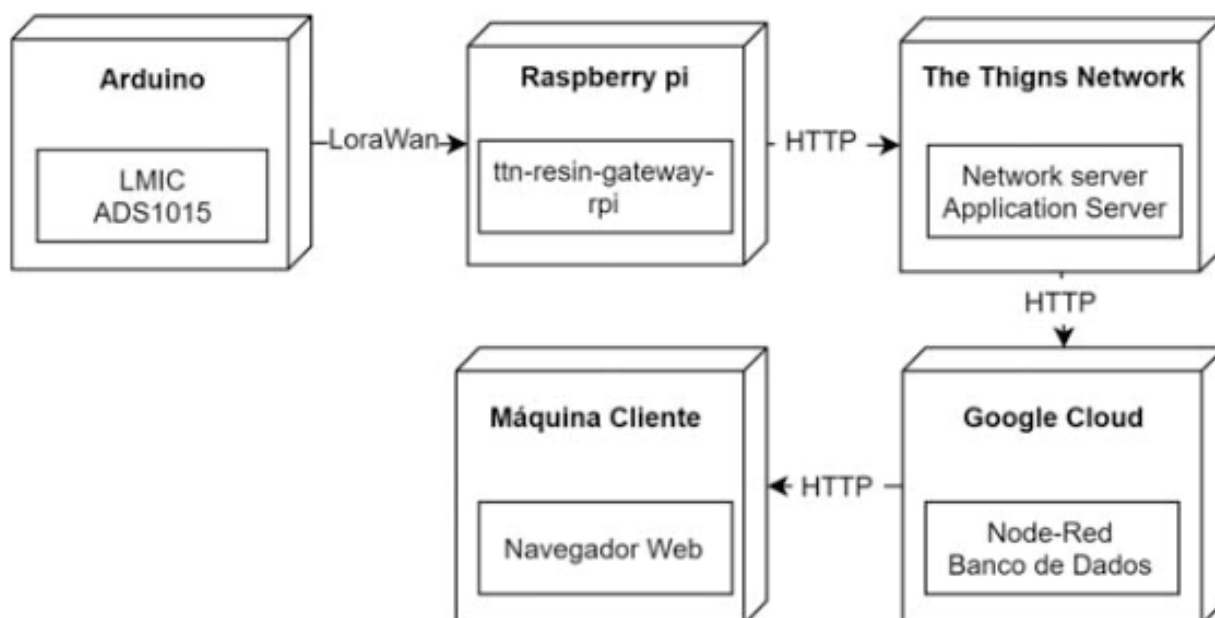


Figura 3. Arquitetura utilizada por Manchini (Manchini [11])

3.1.1 Gateway

O *gateway* utilizado por Manchini mostrado na Figura 4 continua sendo utilizado, porém encontramos a necessidade de reinstalar o sistema operacional utilizado.



Figura 4. Gateway, Fonte: Autor

Um gateway pode conectar diversos dispositivos, com múltiplos sensores, sendo responsável por distribuir essas informações para uma aplicação. *The Things Network* é uma plataforma para compartilhamento de gateways que trabalham com a tecnologia LoRaWan. Essa plataforma é responsável por receber os dados enviados por gateways configurados nele.

O gateway utilizado nesse projeto está instalado dentro da sala de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCA), no Instituto de Ciências Exatas e Geociências (ICEG) B5. Cada estação de monitoramento utiliza o seguinte esquema de montagem como demonstrado na Figura 5.

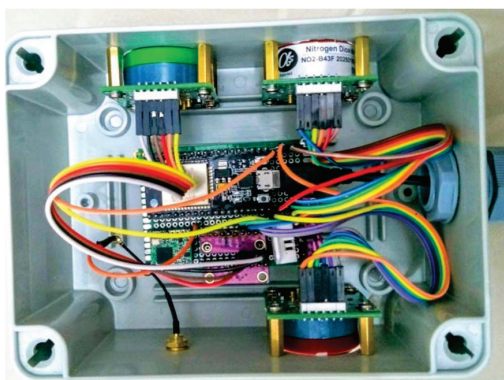


Figura 5. Sensores instalados (Manchini [11])

Duas estações como essa foram utilizadas durante o projeto, uma localizada na parada de ônibus em frente ao diretório central de estudantes, figura 7, e a outra localizada atrás do centro de convivência, figura 6.



Figura 6. Estação do centro de convivência, Fonte: Autor



Figura 7. Estação da parada do diretório central de estudantes, Fonte: Autor

Durante a pesquisa a infraestrutura de rede da universidade passou a ser gerenciada por uma empresa terceirizada, a qual utiliza uma política de bloquear todas as portas por padrão. Foi identificado a que a liberação da porta UDP/1700 é necessária para a comunicação entre o gateway e a rede TTN. Para armazenar os dados obtidos pelos sensores foi necessário criar uma nova estrutura, removendo serviços em versões trial para dar continuidade ao funcionamento do sistema, descrita em 3.1.2.

3.1.2 Server

A fim de receber os dados disponibilizados na rede TTN e armazená-los, foi necessário criar um novo ambiente, para isso foi necessário criar uma máquina virtual no servidor do Parque tecnológico da UPF. Nessa máquina foi instalado um servidor linux utilizando uma imagem do Ubuntu Server 18.04 LTS, escolhido por sua estabilidade, suporte prolongado e por ser *open source*. Esse servidor é responsável por receber, armazenar e disponibilizar as informações da rede TTN.

Node.js é uma plataforma que utiliza o motor javascript do google chrome para construção de aplicações de rede, ele é assíncrono e orientado a eventos, fornecendo escalabilidade e trabalhando com milhares de tarefas simultaneamente em uma única instância do node. O Node possui uma biblioteca interna chamada HTTP que permite a transferência de dados utilizando o protocolo HTTP gerando um servidor.

Uma das funções do server é receber o callback da rede ttn, para isso foi criada uma aplicação web utilizando o framework express. Utilizando dois identificadores obtidos na configuração do gateway, `appID`, que identifica o gateway, e `accessKey`, que funciona como uma senha, é efetuada a conexão com a rede TTN.

```
47 ttn.data(appID, accessKey).then(function (client) {
48   client.on("uplink", function (devID, payload) {
49     //console.log("Received uplink from ", devID)
50     //console.log(payload)
```

Figura 8. Conexão com a rede TTN

Durante o período do mês de Dezembro de 2020 a estrutura utilizada gerou mais de 42 mil registros, contendo informações como, identificação, origem, data e hora, temperatura, umidade do ar, monóxido de carbono(CO), dióxido de nitrogênio(NO2) e dióxido de enxofre(SO2). Devido a grande quantidade de dados gerados optamos por utilizar o MongoDB, uma base de dados NoSQL que armazena os dados em documentos JSON, fornecendo uma melhor escalabilidade e performance com grandes quantidades de dados.

O server node criado durante a pesquisa está em execução no servidor com ip externo em 177.67.253.32 e aguardando requisições na porta 3000.

A aplicação desenvolvida responsável por administrar os dados, utiliza algumas funções da arquitetura REST *Representational State Transfer* que pode ser traduzido para Transferência de Estado Representacional, um conjunto de definições para permitir a comunicação entre aplicações web. Quando um sistema utiliza todas definições descritas no REST ele pode ser chamado de RESTFUL.

Os dados obtidos não devem ser alterados nem deletados não implementado dessa forma os métodos POST, PATCH ou DELETE, ou seja não utilizamos todas as definições do REST.

Duas formas para receber os dados armazenados foram definidas para a aplicação, sendo uma para obter a última leitura salva de cada estação de monitoramento e uma para obter todos os dados armazenados, sendo respectivamente:

- <http://177.67.253.32:3000/qualidadedoar/engum>
- <http://177.67.253.32:3000/qualidadedoar/engdois>
- <http://177.67.253.32:3000/qualidadedoar/>

O código do aplicativo desenvolvido para suprir a estrutura original foi versionado utilizando o sistema de controle de versões GIT, e está disponível em <https://leonpf@bitbucket.org/leonpf/qualidadedoarupf>.

3.2 APLICATIVO MOBILE

Um dos objetivos do desenvolvimento do aplicativo foi estudar uma nova tecnologia e como ela pode ser utilizada em uma cidade inteligente. Flutter é um kit de desenvolvimento criado pelo Google para construir softwares para Android, IOS, Windows, Linux, Mac e Google Fuchsia. Para sistemas desktop, o Flutter utiliza uma máquina virtual para execução do código, enquanto para Android e IOS o código é compilado usando utilizando a técnica de *ahead of time compilation*, que converte o código utilizado pela máquina virtual para código de máquina, melhorando a performance da aplicação ao utilizar código nativo para o IOS do aplicativo.

Durante o desenvolvimento, o flutter aplica o conceito de *Just in Time compilation*, o que permite a função de *hot reload*, permitindo que alterações no código sejam aplicadas em uma aplicação durante a execução. O Flutter utiliza a linguagem Dart também desenvolvido pelo Google, dentre seus atributos estão a orientação a objetos e a definição de classes.

A Figura 9 mostra como ficou a arquitetura após as modificações necessárias para dar continuidade a pesquisa. A utilização do Google *cloud* Firebase para gerenciar o login no sistema e os perfis de usuário.

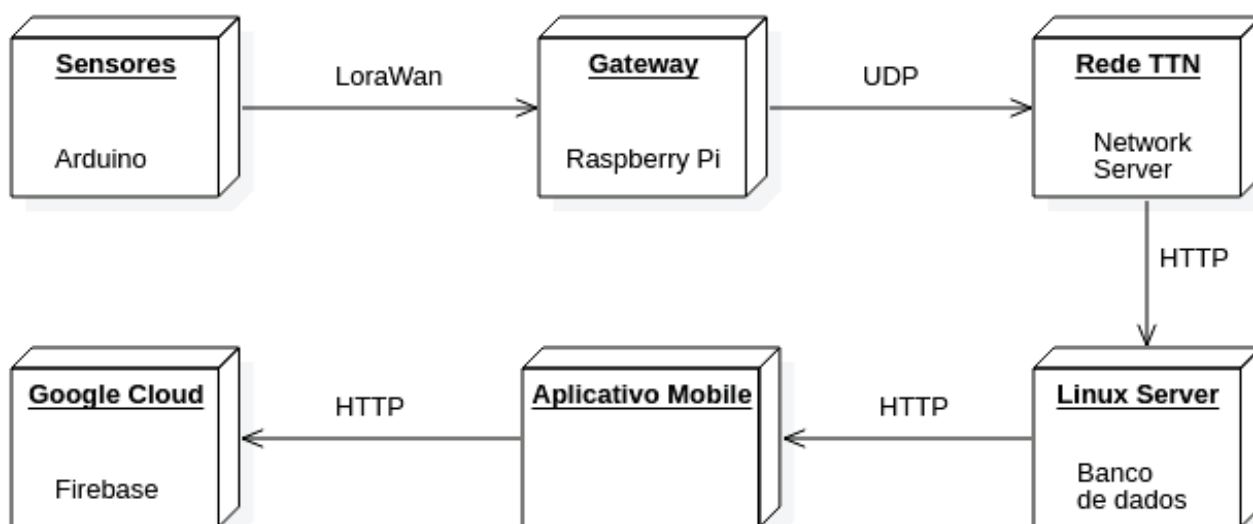


Figura 9. Arquitetura atual, Fonte: Autor

A Universidade de Passo Fundo utiliza o serviço de contas de e-mail do Google, sendo que cada usuário possui um usuário identificado como "matriculaIndividual@upf.br", dessa forma o Login social do Google, *googleSignIn*, pode ser aplicado para login no sistema, atendendo a nova Lei Geral de Proteção de Dados. Ao utilizar essa forma de autenticação o usuário permite o compartilhamento de informações como nome, e-mail e foto para utilização na aplicação

A tela de login do sistema é exibida caso o usuário não esteja logado, como mostra a Figura 10.



Figura 10. Tela de login do sistema, Fonte: Autor

A tela inicial do aplicativo exibida na Figura 11 apresenta as informações sobre temperatura e umidade do ar mais recentes na base de dados, e um mapa inicialmente geo posicionado no Campus I da UPF. O botão posicionado na appbar abre o menu na lateral direita onde estão localizados os botões para abrir a tela informações e para mudar a visão do mapa.

O perfil do usuário é construído através de informações provenientes do login do usuário, e também fornecidas pelo usuário, constituindo um perfil explícito, utilizando os seguintes dados:

- E-mail (obtido através do login)
- Nome (obtido através do login)
- Foto (obtido através do login)
- Data de Nascimento (fornecido pelo usuário)
- Portador de doença cardíaca (fornecido pelo usuário)
- Portador de doença respiratória (fornecido pelo usuário)

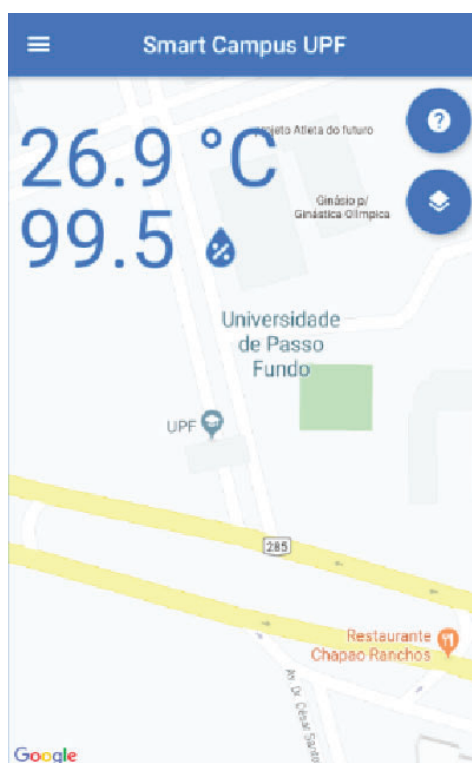


Figura 11. Tela inicial do sistema, Fonte: Autor

O perfil do usuário fica armazenado em uma base NoSQL, ligada ao projeto, que também é responsável pelo gerenciamento do login no sistema. As informações salvas são mostradas na Figura 12.

```

dataNascimento: "1989-03-31"
doencasCardiacas: "false"
doencasRespiratorias: "false"
email: "pablo.leonrodrigues@gmail.com"
foto: "https://lh3.googleusercontent.com
/a-/AAuE7mCHulyT4ahUhJcBpTPPpZ4cnHjZ9kzBdH0aWxX7iQ=s96-c"
grupoDeRisco: "false"
nome: "Pablo Leon Rodrigues"

```

Figura 12. Informações do Perfil do Usuário, Fonte: Autor

Ao clicar no botão menu, o menu lateral é exibido como na Figura 13 contendo as informações obtidas no login, clicando no e-mail do usuário é mostrada a tela de perfil do

usuário habilitando a edição. As informações para o perfil são preenchidas na tela de perfil do usuário conforme a Figura 14, onde o nome pode ser alterado, enquanto o e-mail e a foto são fixos de acordo com a configuração da conta do Google do usuário.

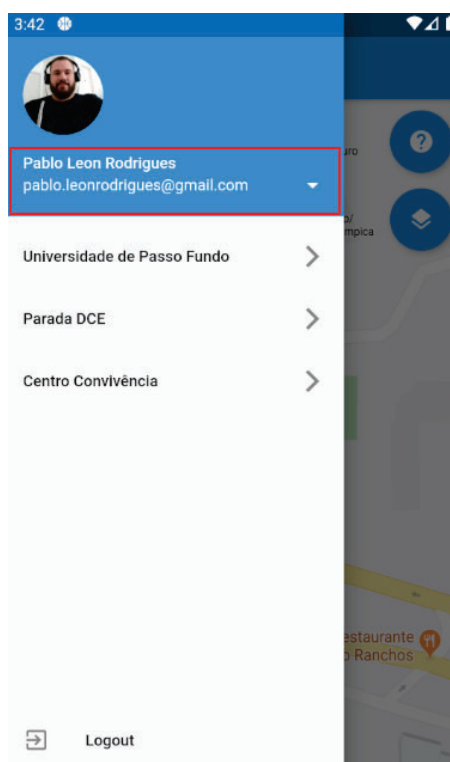


Figura 13. Menu lateral, Fonte: Autor

Figura 14. Tela de perfil do usuário, Fonte: Autor

Para gerar uma recomendação sobre a qualidade do ar no campus é necessário identificar se o mesmo pertence a um grupo sensível (crianças, idosos, pessoas com doenças cardíacas ou respiratórias) ou se ele pertence a população em geral. Tendo respondido afirmativamente uma das perguntas, ou caso o usuário tenha idade menor igual a 12 anos, ou maior igual a 60 anos, o perfil dele pertence a um grupo de risco.

De acordo com este perfil o sistema gera recomendações personalizadas para o usuário que foram escritas de acordo com as informações obtidas na página da CETESB [37] e o estudo da Dra. Miranda Loh [38] sobre a utilização de máscaras para diminuir a exposição a gases nocivos. Dentre as recomendações dedicadas a toda a população estão:

- A população, em geral, não é afetada.
- Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta.
- Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante.
- Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares.

E as recomendações para pessoas dos grupos sensíveis englobam as recomendações normais e um grupo de recomendações direcionadas, a seguir:

- Pessoas de grupos sensíveis podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.
- Pessoas de grupos sensíveis podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
- Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Ao clicar em uma das estações de monitoramento listadas no menu lateral, o sistema atualiza as informações de temperatura e da umidade do ar de acordo com a leitura mais recente armazenada na base de dados. É exibido então um alerta com as informações sobre dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO) e a recomendação, levando em consideração a Tabela 3 e o perfil do usuário, conforme mostra a Figura 15.

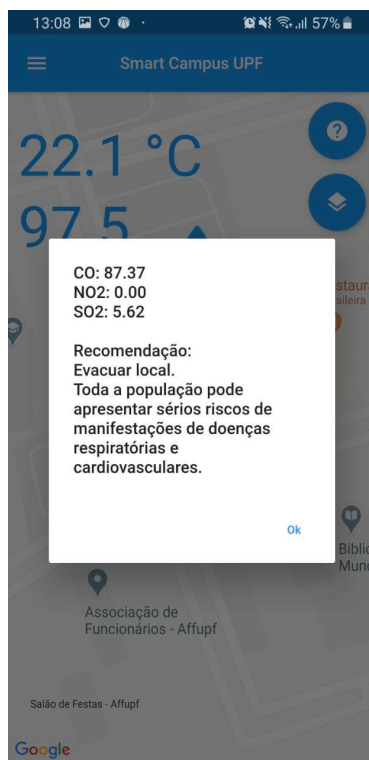


Figura 15. Exemplo de Recomendação, Fonte: Autor

As informações sobre fontes de emissão, danos à saúde e redução das emissões provenientes do trabalho desenvolvido por Manchini [11] e Mazutti [12], são exibidas em uma tela ao clicar no botão de informação no canto direito superior do aplicativo.

Um alerta sobre a qualidade do ar pode ser gerado pela administração da universidade e enviado para todos os usuários ou para grupos de usuários que possuem o aplicativo instalado. O aplicativo pode prover um canal de comunicação, entre sua administração e a comunidade acadêmica, enviando além de alertas informações pertinentes aos usuários, como manutenções em andamento, calendário acadêmico, cursos, palestras e outros eventos. Existe a opção de criar grupos de usuários para direcionar mensagens. Se o aplicativo estiver em execução, é mostrado um alerta na tela do app com a mensagem. Se o aplicativo estiver executando em background ou fechado, uma notificação do sistema operacional é exibida, conforme mostra a Figura 16.

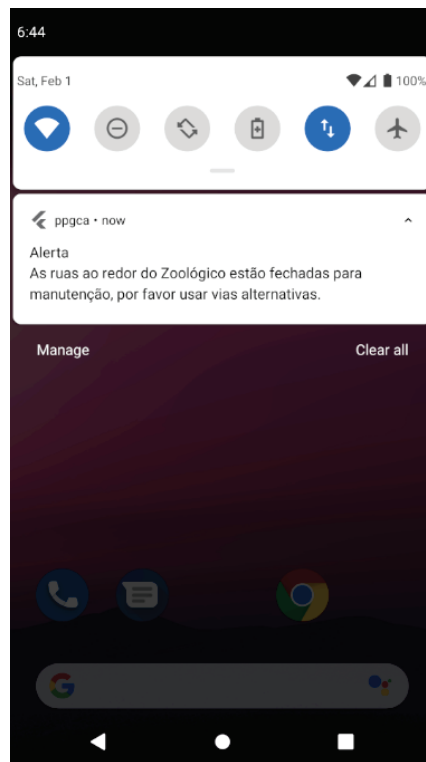


Figura 16. Alerta, Fonte: Autor

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O aplicativo desenvolvido foi disponibilizado no Google Play Store, e pode ser baixado na url <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.ppgca>. Um teste quantitativo foi utilizado para avaliar a aplicação.

4.1 EXPERIMENTO

O experimento foi compartilhado com 180 pessoas através de redes sociais no período entre 04/02/2020 e 11/02/2020, durante o qual foram coletadas treze respostas, sendo um grupo integrando homens e mulheres, com idades variando entre 25 e 60 anos.

Após utilização do aplicativo, os usuários foram convidados a responder um questionário com perguntas referentes a utilização funcional do sistema e quanto a usabilidade do sistema. O formulário, Figura 17 foi construído utilizando o Google Forms, utilizando o mesmo email do Google que foi utilizado para efetuar o login na aplicação. Aos participantes da pesquisa, absteve-se da utilização do termo de consentimento informado em decorrência da sua substituição do termo de adesão do próprio formulário do Google onde através desse método o usuário automaticamente concorda em fornecer seu email, foto e nome com a aplicação eliminando a necessidade de um formulário solicitando acesso a esses dados.

4.1.1 Avaliação Funcional

No formulário, a primeira sessão é dedicada a avaliação funcional do sistema, foram realizadas sete questões para determinar o impacto do sistema para os usuários utilizando uma escala do tipo Likert [39]. A escala Likert possibilita respostas neutras por parte dos entrevistados por ser uma escala ímpar podendo variar entre 1 a 5 sendo, 1 Discordo totalmente e 5 Concordo totalmente. As perguntas a seguir tem por objetivo avaliar as funcionalidades do sistema.

- O acesso a informações sobre a qualidade do ar é importante para a comunidade acadêmica?
- O recebimento de alertas é importante para a comunicação da universidade com os seus usuários?
- As informações recebidas sobre temperatura e umidade do ar no campus foram úteis?

Qualidade do ar UPF

Aplicativo desenvolvido durante pesquisa no Mestrado em Computação Aplicada da Universidade de Passo Fundo (UPF).
O projeto tem como objetivo fornecer informações sobre a qualidade do ar no campus I da UPF, além de fornecer recomendações, informações e alertas para a comunidade acadêmica.

*Obrigatório

Endereço de e-mail *

Perguntas sobre as funcionalidades do aplicativo:

O acesso a informações sobre a qualidade do ar é importante para a comunidade acadêmica? *

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

Figura 17. Formulário de avaliação, Fonte: Autor

- As recomendações geradas pelo aplicativo referente a qualidade do ar no campus são de interesse da comunidade acadêmica?
- As informações fornecidas pelo aplicativo quanto as fontes de emissão são de interesse da comunidade acadêmica?
- As informações fornecidas pelo aplicativo referente aos danos causados à saúde são de interesse da comunidade acadêmica?
- As informações fornecidas pelo aplicativo para a redução das emissões são de interesse da comunidade acadêmica?

4.1.2 Avaliação da usabilidade

Para medir a usabilidade de um sistema, é possível utilizar diversas escalas numéricas, indicando pontos de melhoria no sistema, de acordo com a resposta dos usuários.

O Sistema de Escala de Usabilidade (SUS, *System Usability Scale*), desenvolvido por John Brooke [40] em 1986 esse sistema foi desenvolvido para avaliar produtos, serviços, softwares ou interfaces, e ganhou popularidade por ser simples e com poucas perguntas, o sistema utiliza dez perguntas pré definidas com pontuação em escala Likert. As perguntas do método estão descritas abaixo.

- Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência.

- Eu acho o sistema desnecessariamente complexo.
- Eu achei o sistema fácil de usar.
- Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.
- Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.
- Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.
- Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente.
- Eu achei o sistema atrapalhado de usar.
- Eu me senti confiante ao usar o sistema.
- Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.

O método utiliza um sistema de pontuação para as perguntas, atribuindo valores para respostas. Uma das formas de calcular a pontuação da tabela é utilizar pontuação da Tabela 4.

Tabela 4. Pontos por pergunta

Concordo Totalmente	5
Concordo	4
Neutro	3
Discordo	2
Discordo Totalmente	1

Após definir as pontuações, é aplicada a Equação 3. Onde X é igual a soma de todas as respostas de números ímpares menos cinco (2), e Y é igual a vinte e cinco menos a soma de todas as respostas de números pares (1).

$$X = (\text{Soma de respostas ímpares}) - 5 \quad (1)$$

$$Y = 25 - (\text{Soma de respostas pares}) \quad (2)$$

$$SUS = (X + Y) \times 2.5 \quad (3)$$

O resultado é uma pontuação que pode variar entre 0 a 100, a média de pontuação desse método é de 68 pontos, indicando que sistemas onde a pontuação for menor que 50 é necessário melhorar a usabilidade do sistema.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o período de coleta de dados, é possível interpretar as respostas dos usuários, identificando pontos de melhoria no sistema. As Figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24, mostram os resultados obtidos sobre a avaliação funcional do sistema.

13 responses

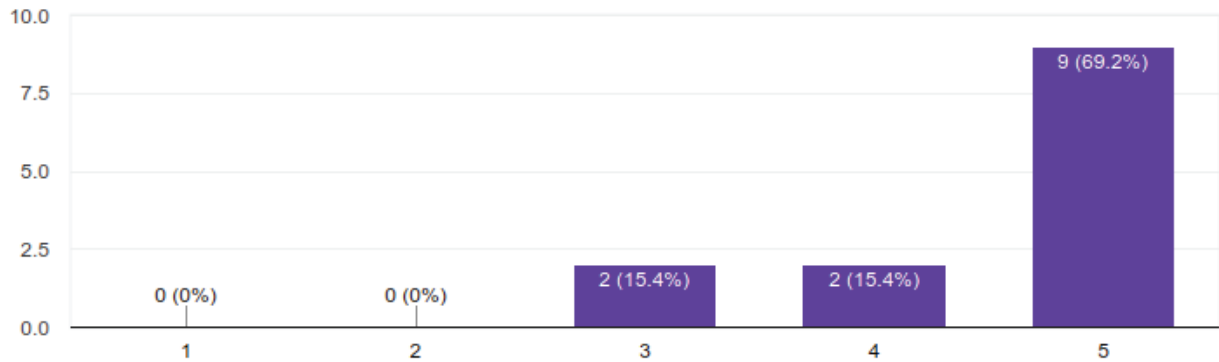


Figura 18. Resultado Pergunta 1

O acesso a informações sobre a qualidade do ar é importante para a comunidade acadêmica?

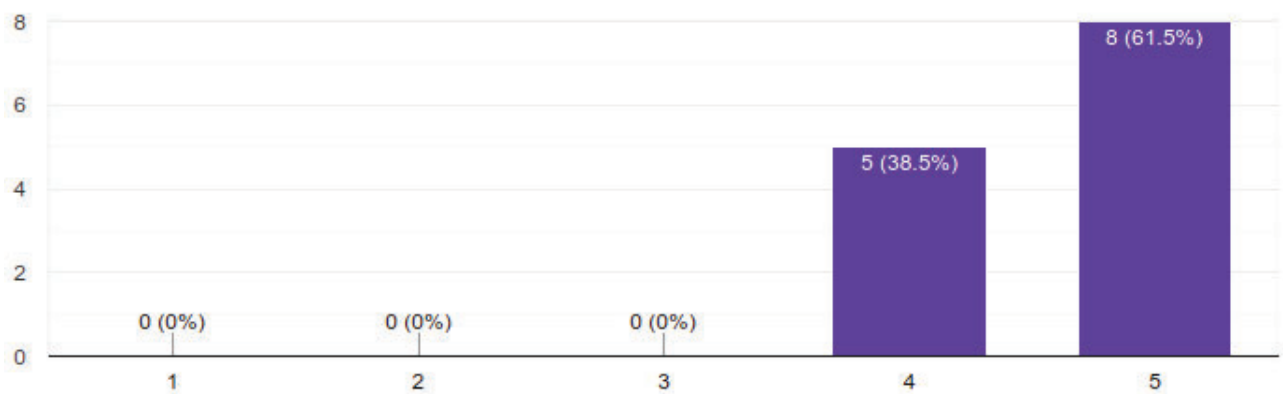


Figura 19. Resultado Pergunta 2

O recebimento de alertas é importante para a comunicação da universidade com os seus usuários?

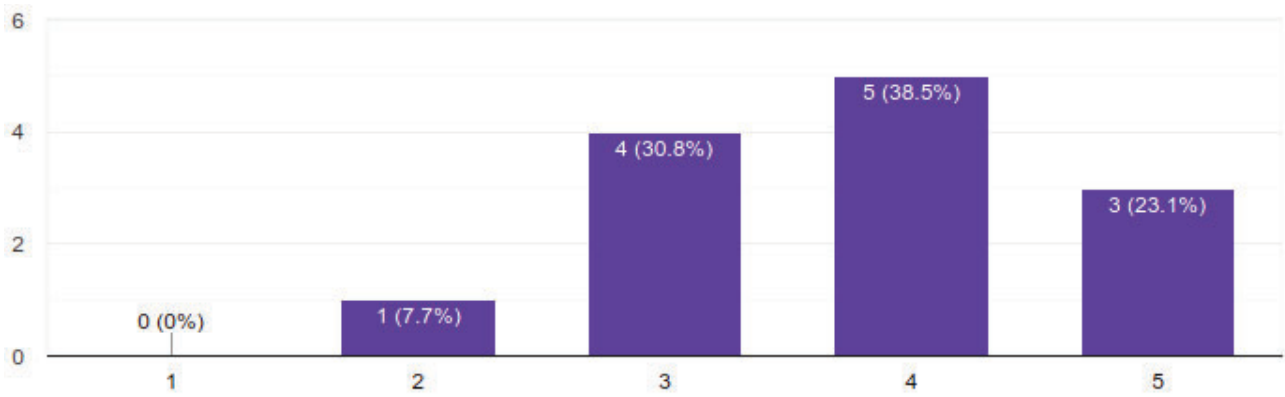


Figura 20. Resultado Pergunta 3

As informações recebidas sobre temperatura e umidade do ar no campus foram úteis?

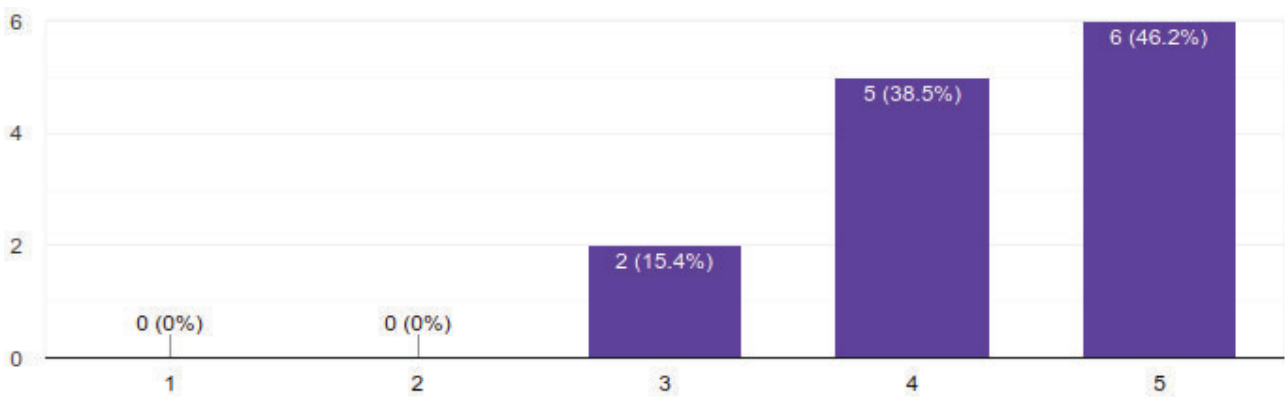


Figura 21. Resultado Pergunta 4

As recomendações geradas pelo aplicativo referente a qualidade do ar no campus são de interesse da comunidade acadêmica?

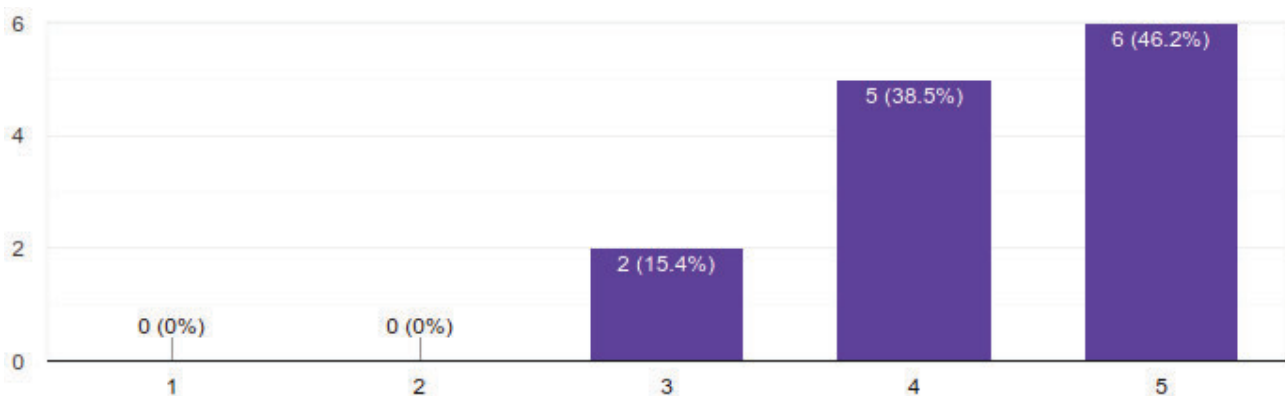


Figura 22. Resultado Pergunta 5

As informações fornecidas pelo aplicativo quanto as fontes de emissão são de interesse da comunidade acadêmica?

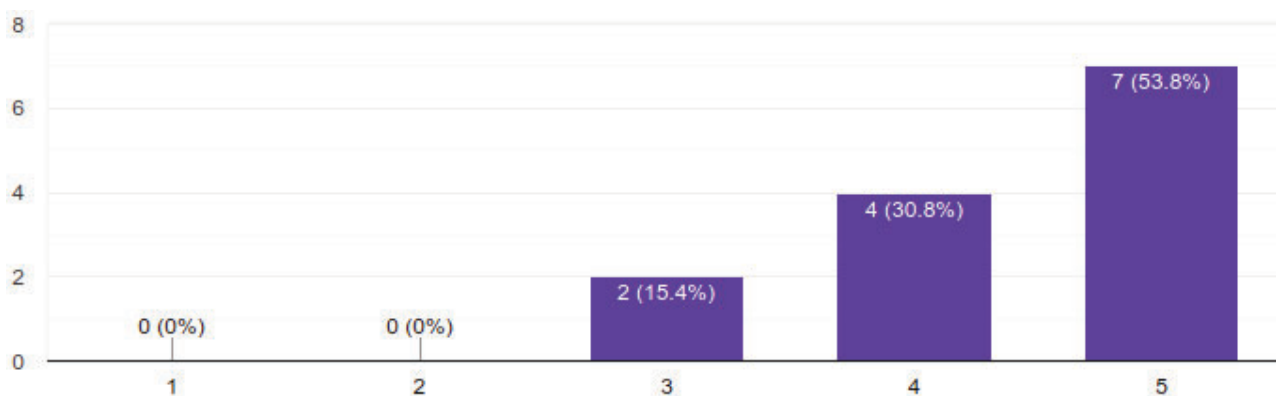


Figura 23. Resultado Pergunta 6

As informações fornecidas pelo aplicativo referente aos danos causados à saúde são de interesse da comunidade acadêmica?

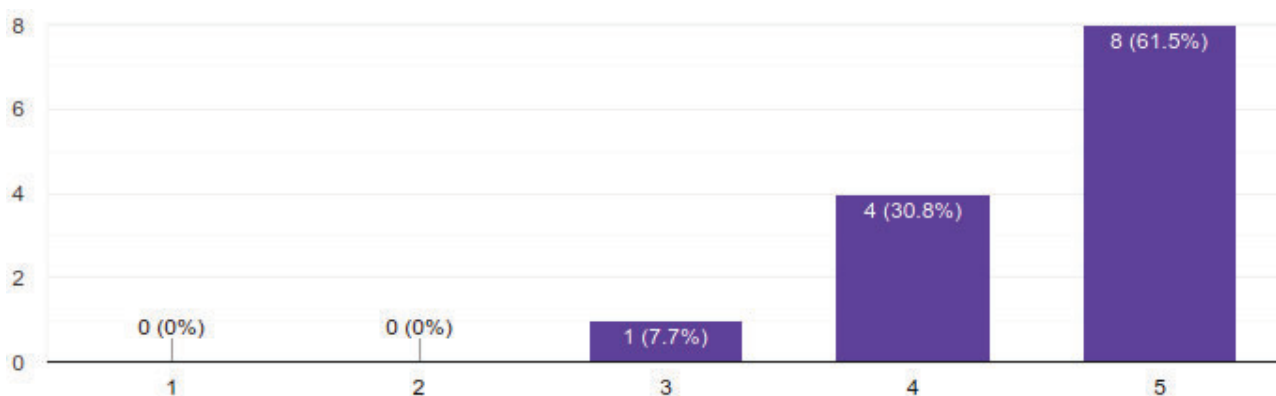


Figura 24. Resultado Pergunta 7

As informações fornecidas pelo aplicativo para a redução das emissões são de interesse da comunidade acadêmica?

De acordo com os resultados obtidos é possível concluir que 30,8% dos usuários é indiferente e que 7,7% discorda que as informações recebidas sobre a temperatura e a umidade do ar tenham sido úteis. Também é possível identificar que em todas as questões a maioria dos usuários respondeu positivamente quanto as funcionalidades do sistema. O resumo das respostas são exibidas na Figura 25.

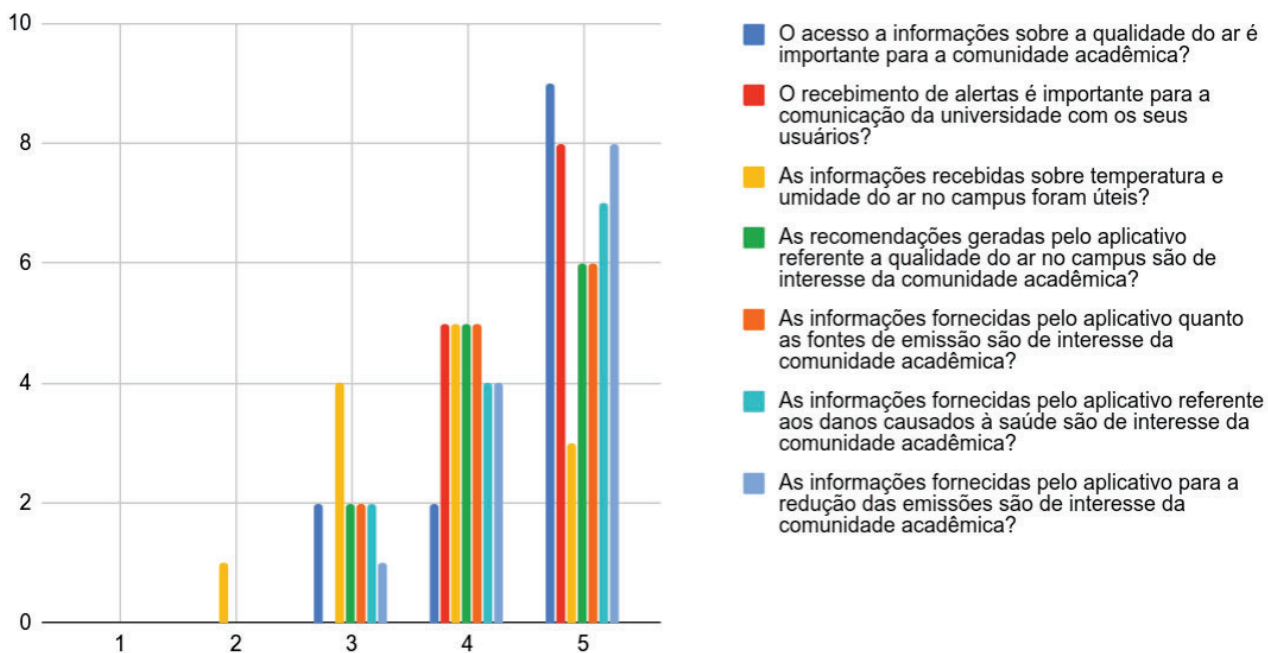


Figura 25. Avaliação Funcional

Na avaliação da usabilidade do sistema os usuários responderam as dez questões do método SUS, avaliando a efetividade e a eficiência do sistema, e a satisfação ao utilizá-lo. As respostas da avaliação de usabilidade estão nas Figuras 26,27,28,29,30,31,32,33,34 e 35.

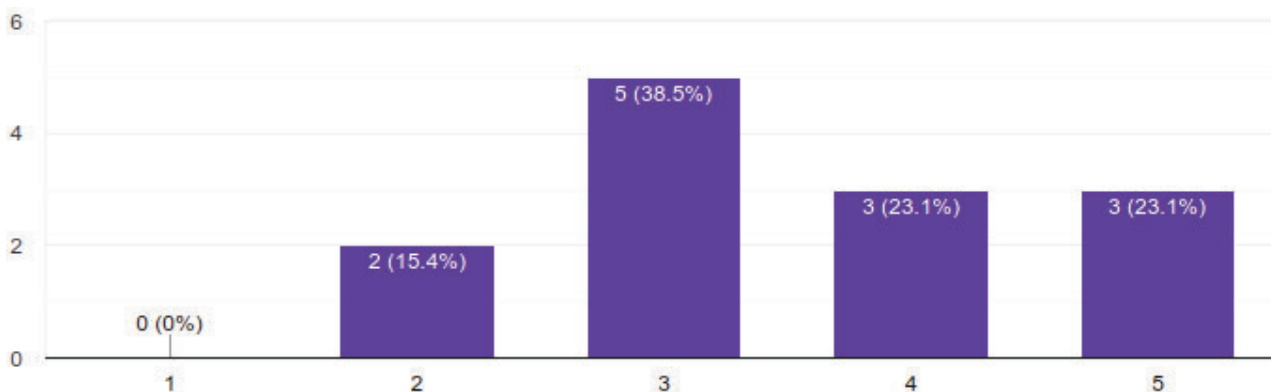


Figura 26. Resultado Pergunta 8

Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência.

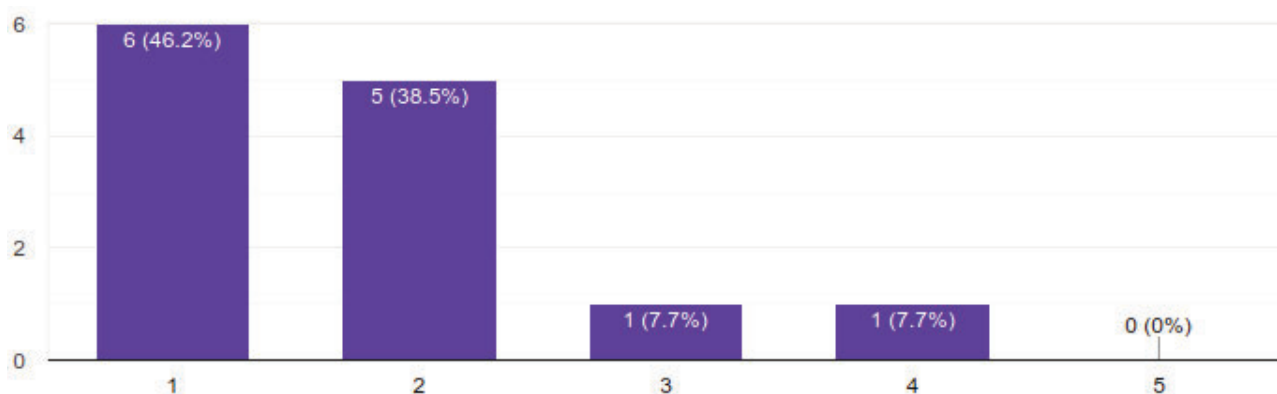


Figura 27. Resultado Pergunta 9
Eu acho o sistema desnecessariamente complexo.

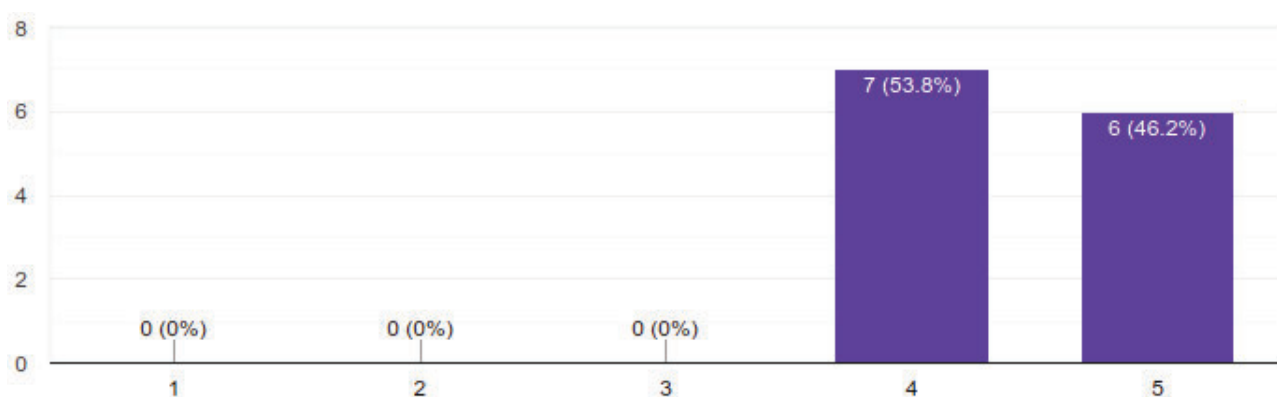


Figura 28. Resultado Pergunta 10
Eu achei o sistema fácil de usar.

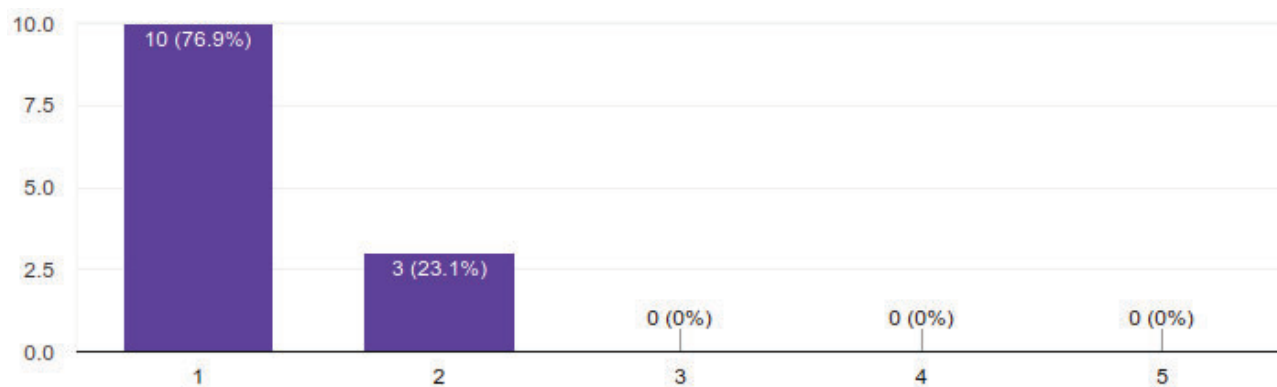


Figura 29. Resultado Pergunta 11
Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.

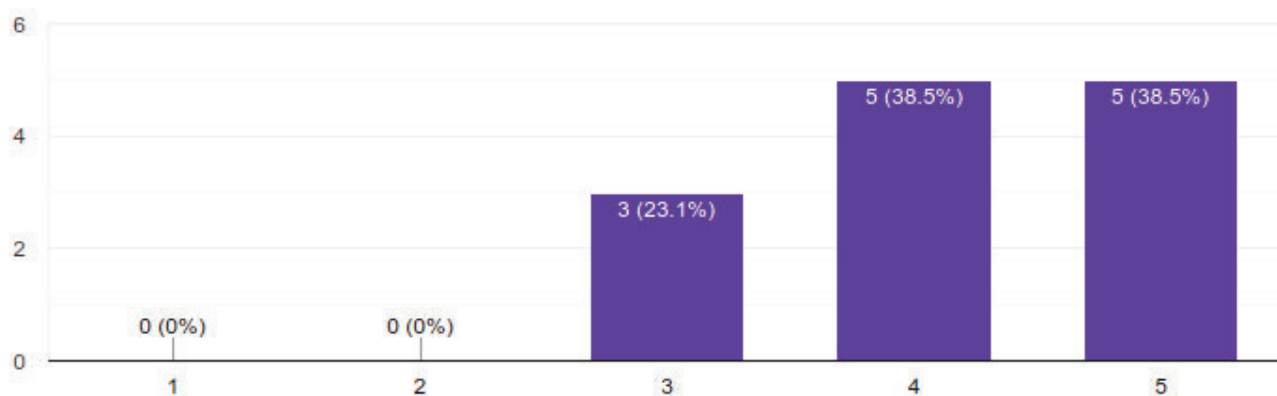


Figura 30. Resultado Pergunta 12

Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.

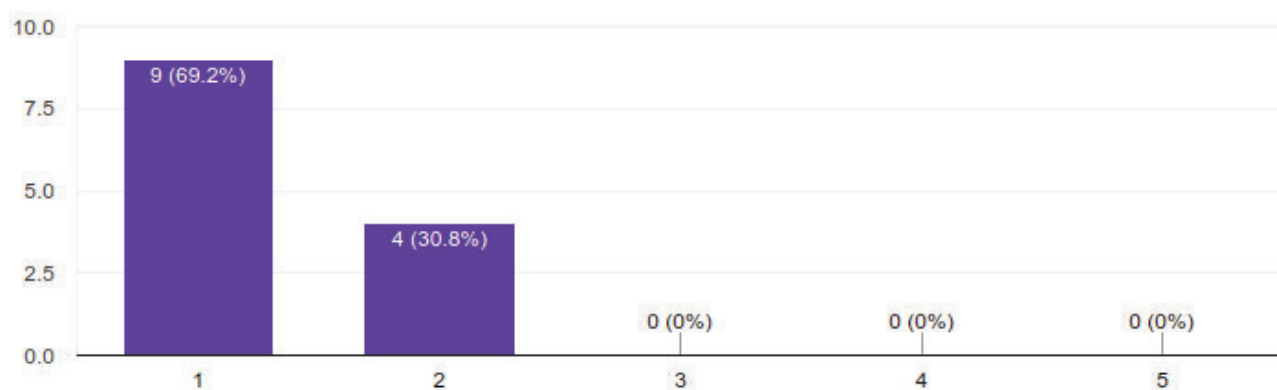


Figura 31. Resultado Pergunta 13

Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.

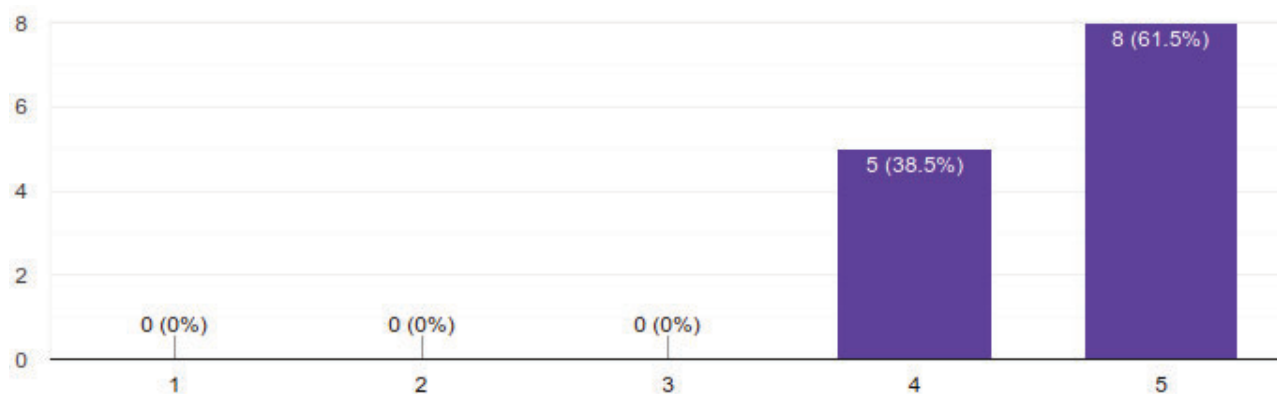


Figura 32. Resultado Pergunta 14

Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente.

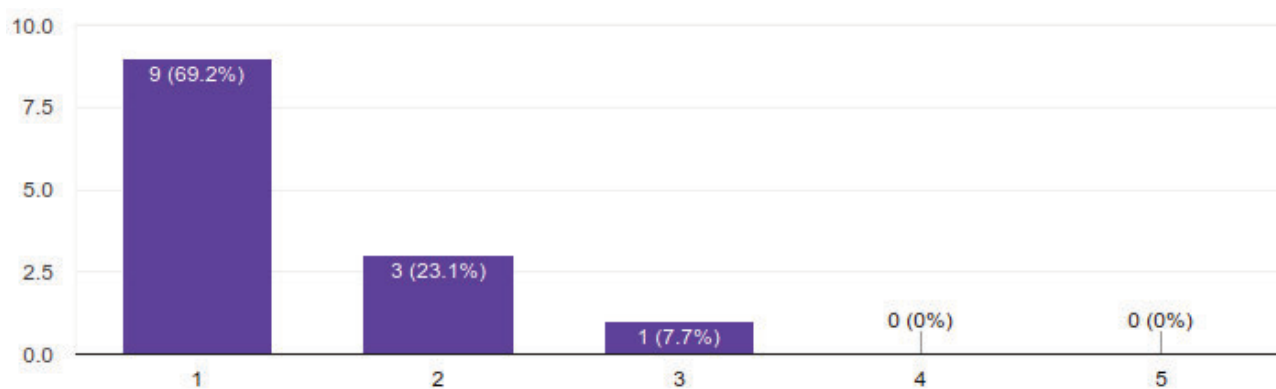


Figura 33. Resultado Pergunta 15
Eu achei o sistema atrapalhado de usar.

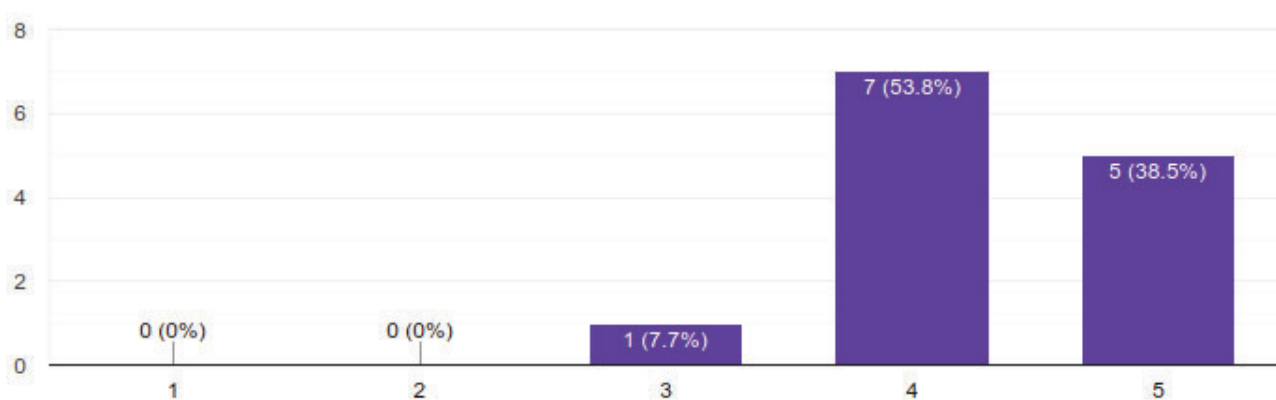


Figura 34. Resultado Pergunta 16
Eu me senti confiante ao usar o sistema.

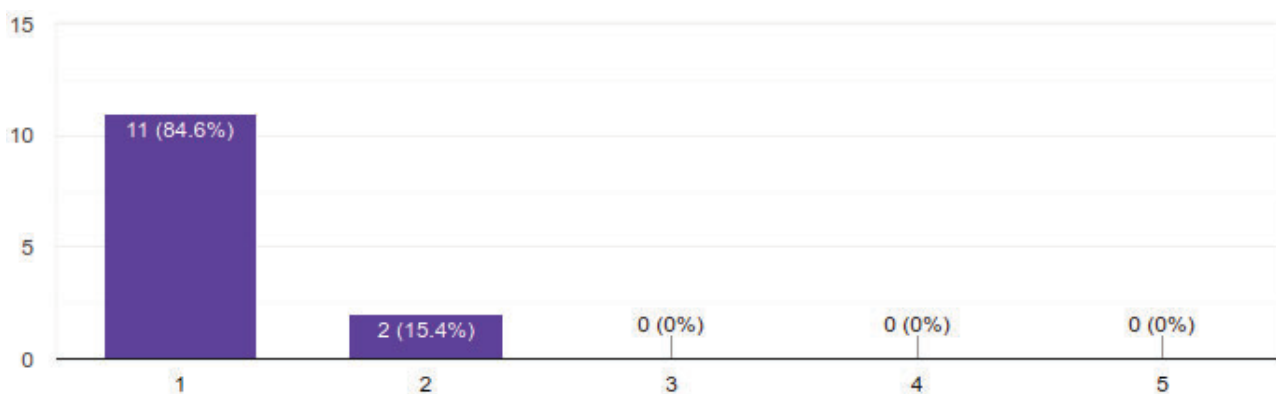


Figura 35. Resultado Pergunta 17
Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.

A avaliação do sistema seguindo o método SUS foi de 84,8 sendo que 7,7% dos usuários achou o sistema desnecessariamente complexo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante desenvolvimento do projeto foi necessário modificar a arquitetura criada por Manchini [11], não mais utilizando a ferramenta da IBM Rednode, a arquitetura desenvolvida passou a utilizar um servidor dedicado para armazenamento dos dados obtidos. O trabalho desenvolvido proporciona uma ferramenta de monitoramento da qualidade do ar, disponibilizando as informações obtidas sobre a qualidade do ar no *smart campus*, fornecendo uma ferramenta de comunicação entre a administração da universidade e seus usuários buscando melhorar a qualidade de vida no campus.

Após o experimento utilizando a estrutura do *smart campus* para validação é possível concluir que a estrutura utilizada no experimento pode ser ampliada para utilização em uma *smart city* apenas adicionando *gateways* e estações de monitoramento.

As recomendações são geradas de acordo com os dados obtidos e com perfil do usuário, direcionando as informações conforme necessário, e os alertas podem ser gerados abordando qualquer notificação que a administração da universidade precise comunicar aos usuários.

De acordo com a pesquisa de avaliação, foi identificado que a maioria dos usuários aprovou o sistema e que considera importante o monitoramento da qualidade do ar, bem como as informações, recomendações e alertas gerados.

A proposta do trabalho produziu um artigo no evento "HCI 2019, *International Conference on Human-Computer Interaction*", a 21ª edição do evento aconteceu no *Walt Disney World Swan and Dolphin Resort* em Orlando-Flórida, Estados Unidos entre 26 e 31 de Julho de 2019.

Como trabalhos futuros, existe o interesse de aumentar o escopo do sistema, agregando outras estações de monitoramento ampliando a cobertura do sistema e integrando outros sensores como por exemplo o sensor de identificação de alergênicos. A validação dos sensores utilizados nas estações de monitoramento utilizadas no campus, em comparação com estações de alto custo é um dos estudos necessários para garantir a qualidade dos dados obtidos no campus. Quanto aos dados obtidos, após validação dos dados é possível disponibilizá-los como uma *open database* ou base de dados aberta, fornecendo os dados obtidos para outros grupos de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRUNEKREEF, B.; HOLGATE, S. T. Air pollution and health. *Lancet*, v. 360, p. 1233–1242, 2002.
- [2] KATSOUYANNI, K. et al. Short term effects of air pollution on health : a European approach using epidemiologic time series data : the APHEA protocol. v. 50, p. 12–18, 1996.
- [3] BUTLAND, B. K. et al. Ambient air pollution and the prevalence of rhinoconjunctivitis in adolescents: a worldwide ecological analysis. *Air quality, atmosphere, & health, Air Quality, Atmosphere & Health*, v. 11, n. 7, p. 755–764, 2018. ISSN 1873-9318.
- [4] ASHIKIN, N. et al. Human Health and Wellbeing : Human health effect of air pollution. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Elsevier B.V., v. 153, p. 221–229, 2014. ISSN 1877-0428.
- [5] A Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 12, n. 1, p. 29–40, 2003. ISSN 1679-4974.
- [6] BRASIL, G. do. *Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar estabelece metas para a area*. 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2012/04/programa-nacional-de-controle-de-qualidade-do-ar-estabelece-metas-para-area>>. Acesso em: Out. 2018.
- [7] STERN, A.; BOUBEL, R.; TURNER, C. *Fundamentals of Air Pollution, Fourth Edition*. Biblioteca: Academic Press, 2008. Paperback.
- [8] AMORIM, D. *IBGE precisa de R\$ 3 bi para Censo 2020*. 2018. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/suas-contas,ibge-confirma-concurso-para-censo-2020,70002024324>>. Acesso em: 02 out. 2017.
- [9] FERREIRA, F. H. C.; ARAUJO, R. M. d. *Campus Inteligentes: Conceitos, aplicações, tecnologias e desafios*. [S.l.], 2018. 19 p.
- [10] MUHAMAD, W. et al. Smart campus features, technologies, and applications: A systematic literature review. In: *2017 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 384–391.
- [11] SOUZA, F. V. M. de. *Uma arquitetura lpwan acessível para smart cities*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brasil, 2018.
- [12] MAZUTTI, J. A aplicação do monitoramento da qualidade do ar na construção de um smart e learning campus. UPF. 2018.

- [13] NATIONS, U. *Urban and Rural Areas 2009*. 2009. Disponível em: <<http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/urbanization/urban-rural.shtml>>. Acesso em: 11 Outubro 2018.
- [14] BRASIL, G. do. *Resolução CONAMA n° 3, de 28 de junho de 1990*. 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: Out. 2018.
- [15] BRASIL, G. do. *Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente*. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 11 Outubro 2018.
- [16] FEPAM, F. E. d. P. A. H. L. R. *Índice de Qualidade do Ar, IQAr*. 2018. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/iqar.asp>>. Acesso em: Out. 2018.
- [17] EPA, U. S. E. P. A. *Criteria Air Pollutants*. 2018. Disponível em: <<https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>>. Acesso em: Out. 2018.
- [18] BERST, J. Smart cities readiness guide. *Smart Cities Council*. Disponível em: <<http://www.estudislocals.cat/wp-content/uploads/2016/11/SmartCitiesReadinessGuide.pdf/>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- [19] CARAGLIU, A.; BO, C. D.; NIJKAMP, P. Smart cities in europe. *Journal of urban technology*, Taylor & Francis, v. 18, n. 2, p. 65–82, 2011.
- [20] IBM. *Smarter Cities New cognitive approaches to long-standing challenges*. 2017. Disponível em: <https://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/overview/>. Acesso em: 15 out. 2018.
- [21] LAGUNA, S. C. *Smart City Laguna*. 2017. Disponível em: <<http://smartcitylaguna.com.br/>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- [22] SARI, M. W.; CIPTADI, P. W.; HARDYANTO, R. Study of smart campus development using internet of things technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 190, p. 012032, 04 2017.
- [23] DONG, X. et al. Oncampus: a mobile platform towards a smart campus. *SpringerPlus*, v. 5, 12 2016.
- [24] PINTO, L.; ROMANO, R.; TOMOTO, M. From the university to smart cities—how engineers can construct better cities in bric’s countries: A real case from smart campus facens. In: _____. [S.l.: s.n.], 2017. p. 347–354. ISBN 978-3-319-41946-6.
- [25] ALLIANCE, L. *LoRa Alliance*. 2017. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/>>. Acesso em: 15 out. 2018.

- [26] RASHID, A. M. et al. Getting to know you. *Proceedings of the 7th international conference on Intelligent user interfaces - IUI '02*, n. December 2012, p. 127, 2002. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=502716.502737>>.
- [27] BHASKER, B.; SRIKUMAR, K. *Recommender Systems in E-Commerce*. Tata McGraw Hill Education, n. 1, 2010.
- [28] SIVAPALAN, S.; SADEGHIAN, A. *Recommender Systems in E-Commerce Recommender Systems in E-Commerce*. n. October, p. 2–7, 2015. ISSN 1384-5810.
- [29] Cervi, C. R.; Galante, R.; Oliveira, J. P. M. d. An adaptive approach for identifying reputation of researchers. In: . [S.l.: s.n.], 2012.
- [30] Cervi, C. R.; Galante, R.; Oliveira, J. P. M. d. Comparing the reputation of researchers using a profile model and scientific metrics. In: *2013 IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 353–359.
- [31] FINK, J.; KOBASA, A. User modeling for personalized city tours. *Artificial Intelligence Review*, v. 18, p. 33–74, 2002.
- [32] GAUCH, S. et al. User profiles for personalized information access. In: _____. *The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 54–89. ISBN 978-3-540-72079-9.
- [33] MAIA, M.; ALMEIDA, J.; ALMEIDA, V. Identifying user behavior in online social networks. In: *Proceedings of the 1st Workshop on Social Network Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2008. (SocialNets '08), p. 1–6. ISBN 9781605581248. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/1435497.1435498>>.
- [34] TRAJKOVA, J.; GAUCH, S. Improving ontology-based user profiles. In: *RIAO*. [S.l.: s.n.], 2004.
- [35] MIDDLETON, S. E.; SHADBOLT, N.; ROURE, D. D. Ontological user profiling in recommender systems. *ACM Trans. Inf. Syst.*, v. 22, p. 54–88, 2004.
- [36] PAZZANI, M. J. A framework for collaborative, content-based and demographic filtering. *Artificial Intelligence Review*, v. 13, n. 5, p. 393–408, Dec 1999. ISSN 1573-7462. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1006544522159>>.
- [37] PAULO, C. C. A. do Estado de S. *Padrões de Qualidade do Ar*. 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: Jun. 2019.
- [38] CHERRIE, J. W. et al. Effectiveness of face masks used to protect beijing residents against particulate air pollution. *Occupational and Environmental Medicine*, BMJ Publishing Group Ltd, v. 75, n. 6, p. 446–452, 2018. ISSN 1351-0711. Disponível em: <<https://oem.bmj.com/content/75/6/446>>.

- [39] LIKERT, R. *A technique for the measurement of attitudes*. New York: The Science Press, 1932.
- [40] BROOKE, J. Sus: A quick and dirty usability scale. usability evaluation in industry. In: . [S.l.]: Digital Equipment Corporation, 1996.



UPF

UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br