

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Uma arquitetura de IoT para a automação da irrigação em ambientes assistidos

Diogo Freitas de Andrade

JUIZ DE FORA
JANEIRO, 2022

Uma arquitetura de IoT para a automação da irrigação em ambientes assistidos

DIOGO FREITAS DE ANDRADE

Universidade Federal de Juiz de Fora

Instituto de Ciências Exatas

Departamento de Ciências da Computação

Bacharelado em Sistemas de Informação

Orientador: José Maria Nazar David

Coorientador: Mario Antonio Ribeiro Dantas

JUIZ DE FORA

JANEIRO, 2022

UMA ARQUITETURA DE IOT PARA A AUTOMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO EM AMBIENTES ASSISTIDOS

Diogo Freitas de Andrade

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.

Aprovada por:

José Maria Nazar David
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação

Mario Antonio Ribeiro Dantas
PhD em Ciência da Computação

Victor Stroele de Andrade Menezes
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação

Fabício Martins Mendonça
Doutor em Ciência da Informação

JUIZ DE FORA
31 DE *JANEIRO*, 2022

Resumo

Com o avanço da agricultura, surgiu a necessidade de obter dados específicos de plantações e automatizar suas atividades, como por exemplo, a automação da irrigação utilizando dados como a umidade do solo, com o intuito de utilizar os recursos de forma eficiente. Da mesma forma, a população em geral busca cada vez mais a automação de tarefas repetitivas para focar em outros problemas mais complexos. Uma das atividades atingidas por essa tendência é a de plantio doméstico. O que era considerado um *hobby* por muitos, torna-se um incômodo devido à falta de tempo. Por conta de ser um problema que abrange uma variedade de públicos, uma solução não basta funcionar, para ser amplamente aceita é necessário que essa possibilite sua utilização sem conhecimento técnico específico e seja escalável, levando em consideração seus gastos de implantação. Para resolver esse problema, este trabalho propõe uma arquitetura denominada de Smart Rain, cujo atributo de qualidade principal é a experiência de usuário. Como resultado, usuários que possuem familiaridade com aplicativos e tecnologia em geral encontraram facilidade na utilização do aplicativo que compõe a solução. Entretanto, usuários que não possuem essa familiaridade encontraram bastante dificuldade para executar suas funcionalidades.

Palavras-chave: Internet das Coisas, experiência de usuário, arquitetura de software, Smart Rain, aplicativo.

Abstract

With the advancement of agriculture, it became necessary to collect specific data from the crops, such as when soil moisture is below a certain level, to use resources more efficiently. In a similar way, the general population seeks for automation of repetitive tasks, both because there is a need to focus on more complex problems and for a lack of time being at home. One of those tasks it's home gardening. What was considered a hobby by many, becomes a nuisance due to lack of time. Because it is a problem that covers a variety of audiences, it is not enough for a solution to just work. To be widely accepted, it must be possible to use it without specific technical knowledge and be scalable, taking into account implementation costs. For solving this problem, this work proposes an architecture called Smart Rain, whose main quality attribute is the user experience. As a result, users who are familiar with applications and technology in general found it easy to use the app that compose the solution. However, users who do not have this familiarity found it quite difficult to execute its features.

Keywords: Internet of Things, user experience, software architecture, Smart Rain, mobile app.

Agradecimentos

A todos os meus parentes, pelo encorajamento e apoio.

Aos professores José Maria Nazar David e Mario Antônio Ribeiro Dantas pela orientação, amizade e paciência, sem os quais este trabalho não se realizaria.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação pelos seus ensinamentos e aos funcionários do curso, que durante esses anos, contribuíram de algum modo para o nosso enriquecimento pessoal e profissional.

Conteúdo

Lista de Figuras	5
1 Introdução	6
1.1 Descrição do problema	7
1.2 Objetivo Geral	7
1.3 Objetivos específicos	7
2 Fundamentação teórica	9
2.1 Evolução da agricultura	9
2.2 Agricultura 4.0	10
2.3 Arquitetura IoT	11
3 Projetos relacionados	12
4 Proposta de solução - <i>Smart Rain</i>	14
4.1 Metodologia	14
4.2 Requisitos Funcionais	14
4.3 Atributos de qualidade	16
4.4 Arquitetura	17
4.5 Bordas	18
4.6 Neblina	18
4.7 Nuvem	18
5 Desenvolvimento do ambiente <i>Smart Rain</i>	20
5.1 Definição dos equipamentos	20
5.2 Definição das plataformas	21
5.3 Definição das linguagens e bibliotecas	22
5.4 Definição da persistência	22
5.5 Implementação do controlador	23
5.6 Implementação das APIs de neblina	26
5.7 Implementação do aplicativo	26
6 Análise do ambiente desenvolvido	29
6.1 Caracterização dos participantes	29
6.2 Histórias de usuário	29
6.2.1 Cadastro de plantas	30
6.2.2 Visualização de plantas	30
6.2.3 Detalhes da planta	30
6.2.4 Edição da planta	31
6.2.5 Exclusão da planta	31
6.3 Observações dos participantes	31
7 Conclusão e trabalhos futuros	33
Bibliografia	35

Lista de Figuras

4.1	Visão geral da arquitetura	17
5.1	Módulo ESP32s de 38 pinos	20
5.2	Sensores de ambiente utilizados na Smart Rain	21
5.3	Diagrama do banco de dados	23
5.4	Esquema de montagem do equipamento	24
5.5	Montagem do equipamento conectado à uma planta	25
5.6	Design das telas desenvolvidas no aplicativo	28

1 Introdução

Nos últimos 50 anos é possível observar uma aceleração na produtividade da agricultura brasileira, ocasionado principalmente por investimentos em pesquisas agrícolas. Como resultado, destaca-se evoluções nas técnicas de cultivo, de maquinário e na utilização de fertilizantes. Entretanto, com o desenvolvimento e aperfeiçoamento da tecnologia agrícola, surgiram também problemas como a necessidade de importação de fertilizantes para suprir a demanda e o prejuízo causado à saúde, devido ao excesso de sua utilização (AGRICULTURA, 2018).

Paralelamente ao desenvolvimento agrícola, observou-se um aumento exponencial dos recursos computacionais, como a diminuição física dos componentes, assim como sua potência. Esse avanço possibilitou a consolidação da Computação Ubíqua, em que temos uma variedade de sensores, atuadores e dispositivos interconectados entre si, gerando uma percepção mais ampla do que temos atualmente sobre o mundo à nossa volta. (PÉREZ; CAMARGO; RODRÍGUEZ-CHINCHILLA, 2020) Aliado a esse desenvolvimento, a população em geral busca a automatização de tarefas repetitivas, para que o seu tempo seja melhor utilizado para solucionar problemas mais complexos.

Este avanço da Computação Ubíqua permitiu que soluções fossem desenvolvidas com o intuito de monitorar e automatizar plantações agrícolas, de forma a diminuir o gasto com recursos e aumentar sua produtividade, como a automatização da irrigação baseada em dados como umidade do solo.

Através da união de ambos cenários, a automatização nas plantações agrícolas e a busca por automatizar tarefas repetitivas do dia a dia, surge a oportunidade de aplicar os avanços agrícolas no contexto doméstico. Apesar disso, por ser uma tecnologia emergente, existe uma certa resistência dos usuários na sua utilização. Um dos motivos é a atual escassez de produtos com interfaces acessíveis no mercado de Internet das Coisas, cujo o foco é o plantio doméstico, e a resistência em aderir a uma nova tecnologia (ROECK; SILVA, 2016). Como consequência ocorre uma estagnação na evolução e desenvolvimento da mesma, problema que será abordado neste trabalho.

1.1 Descrição do problema

A população em geral busca cada vez mais a automação de tarefas repetitivas, tanto para focar em outros problemas mais complexos quanto pela escassez de tempo em que estão em casa. Uma das atividades atingida por essa tendência é a de plantio doméstico. O que era considerado um hobby por muitos, torna-se um incômodo devido à falta de tempo. Por conta de ser um problema que abrange uma variedade de públicos, uma solução não basta funcionar, para ser amplamente aceita é necessário que essa possibilite sua utilização sem conhecimento técnico específico e seja escalável, levando em consideração seus gastos de implantação.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma arquitetura para ambientes assistidos, com o intuito de monitorar e controlar o plantio de hortaliças. Associado a esta arquitetura, foi desenvolvido um aplicativo de fácil aprendizado e utilização, capaz de interpretar os dados obtidos e configurar a irrigação automática. Em conjunto, foi desenvolvido um dispositivo capaz de capturar os dados e acionar a irrigação. O intuito é garantir a qualidade de experiência do usuário como forma de atingir uma maior quantidade de pessoas.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento do estado da arte das pesquisas em IoT para a utilização de sensores e atuadores, e as lacunas existentes.
- Obter conhecimento dos sensores e atuadores necessários para construção do ambiente.
- Obter conhecimentos das tecnologias que utilizam os conceitos de IoT voltadas para cenários de plantação.
- Desenvolver uma arquitetura para automação da irrigação em ambientes assistidos.

-
- Desenvolver um ambiente baseado em sensores e atuadores que possibilitem a obtenção de dados, e a ativação da irrigação automaticamente.
 - Desenvolver um aplicativo que possibilite o monitoramento dos dados obtidos, sendo escalável, e voltado a qualidade de experiência do usuário.
 - Analisar os resultados obtidos e realizar comparações com o cenário atual.

2 Fundamentação teórica

Esta seção apresenta uma contextualização histórica e embasamento teórico sobre o assunto em questão, que serão utilizadas como base para o desenvolvimento do projeto.

2.1 Evolução da agricultura

A prática de cultivar a terra para obter alimento de forma a garantir sustento para o ser humano é conhecida desde a antiguidade. Atualmente, é possível classificar a evolução da agricultura de acordo com as técnicas e ferramentas utilizadas (ZHAI et al., 2020):

- Agricultura 1.0: Força humana e animal para o plantio, e utilização de ferramentas simples.
- Agricultura 2.0: Utilização de máquinas e produtos químicos, como agrotóxicos.
- Agricultura 3.0: Utilização da robótica e softwares computacionais.
- Agricultura 4.0: Sistemas e dispositivos inteligentes.

Através desta evolução, que aconteceu ao decorrer de diferentes condições de clima, solo e civilizações, obteve-se uma enorme gama de conhecimento empírico. Através dele, surgiram técnicas padronizadas para o cultivo dos mais variados tipos de plantações, como o das hortaliças. Com o aperfeiçoamento destas técnicas, hoje temos definições específicas de condições de solo, clima e época do ano ideais para cada espécie. Entretanto eventuais adaptações ficam a cargo da capacidade de observação do agricultor.

Três fatores climáticos são muito importantes para a produção e influenciam no ciclo, qualidade e produtividade de hortaliças: temperatura, umidade e luminosidade. A maioria das hortaliças tem seu melhor desempenho em condições de temperatura amena, com médias entre 18°C a 22°C, e sofrem danos em condições de altas temperaturas e precipitação. Preferem temperaturas mais elevadas e um grupo menor necessita de baixas temperaturas para produzir. (AMARO et al., 2007)

A atividade agrícola é fortemente marcada por uma especificidade que a diferencia da produção da indústria e do setor de serviços: a forte dependência dos recursos naturais (como terra, clima e solo) e dos processos biológicos. Em particular, essa característica requer as seguintes condições: a) maior rigidez do processo produtivo, tendo como consequência menor flexibilidade para ajustar-se aos ciclos da economia e às mudanças nas conjunturas dos mercados relevantes; b) sazonalidade da produção; e c) dependência de processos biológicos que são responsáveis diretos pelas operações mais importantes do processo produtivo. Essas condições refletem os riscos que cercam a atividade agrícola, os quais tendem a ser maiores do que aqueles relacionados ao conjunto das demais atividades. (ROECK; SILVA, 2016)

2.2 Agricultura 4.0

A Agricultura 4.0 é um termo criado para designar a nova revolução na agricultura, sendo uma subárea da indústria 4.0, onde são aplicadas as mais novas tecnologias no sentido de promover o aumento da produção de alimentos, reduzir custos e racionalizar a utilização de recursos naturais. Essas novas tecnologias vêm no sentido de se posicionarem como solução aos principais problemas surgidos na agricultura envolvendo falta de terras para plantio, solo em condições inadequadas, crescimento populacional, mudanças climáticas globais, poluição e desperdício de alimentos. (RIBEIRO; MARINHO; ESPINOSA, 2018)

O Brasil, como um dos maiores produtores agrícolas mundiais, exerce importante papel no sentido de aderir à agricultura 4.0, investindo em modernização e tecnologia e, dessa forma, inserindo cada vez mais práticas sustentáveis ao setor. Existe, portanto, uma grande possibilidade do Brasil ampliar sua produção de alimentos com as novas tecnologias, dada sua extensão territorial e clima favorável. (RIBEIRO; MARINHO; ESPINOSA, 2018)

2.3 Arquitetura IoT

A Internet das Coisas(IoT)¹ é uma rede de objetos físicos, como dispositivos, veículos, construções e outros itens que possuem eletrônicos, circuitos, sensores e conectividade com a rede. Esta tecnologia permite que os objetos sejam monitorados e controlados remotamente através da infraestrutura de rede e, com isso, são capazes de coletar e compartilhar dados. Essa conexão possibilita uma interação direta do mundo físico com sistemas computacionais, resultando em maior eficiência e precisão de certos serviços.(GOKHALE1; BHAT2; BHAT3, 2018) Um sensor é um equipamento que responde a estímulos físicos e transmite um impulso (mensurável ou operante) correspondente. Vale destacar os sensores que capturam os seguintes estímulos: umidade, temperatura, luminosidade e compostos orgânicos no solo.

Um requisito crítico de uma rede IoT é que os objetos devem estar conectados entre si. Uma arquitetura IoT deve garantir as operações que conectam o físico com o virtual. O seu design envolve vários fatores como conexão, comunicação, processos, etc. Devem ser levados em consideração aspectos como escalabilidade, operabilidade e extensibilidade. Devido ao fato de que os objetos podem mudar de lugar, e precisam interagir entre si em tempo real, a arquitetura deve ser adaptável para manter a comunicação nestas circunstâncias. Por fim, deve possuir uma natureza descentralizada e heterogênea.(GOKHALE1; BHAT2; BHAT3, 2018)

¹Do inglês, Internet of Things

3 Projetos relacionados

Esta seção apresenta três pesquisas relacionadas ao contexto de agricultura 4.0, aplicação de irrigação automatizada utilizando IoT e automatização do processo de plantações como um todo.

A pesquisa de Zhai et al. (2020) apresenta um estudo sobre os desafios que estão por vir relacionados à aplicação de sistemas de suporte de decisão agrícola (SSDA). Inicialmente apresenta uma evolução histórica da agricultura, descrevendo as principais diferenças entre cada tipo, de 1.0 a 4.0, e depois segue com uma análise sobre soluções SSDAs, detalhando o problema resolvido por cada um, assim como seus desafios.

Após feita uma comparação entre as soluções, foram levantados os principais desafios comuns dentre todas as tecnologias, sendo um deles a simplificação das interfaces para melhorar a acessibilidade. É descrito, que apesar de mais da metade das soluções fornecerem uma interface visual para os agricultores, é relatado que muitas vezes eles enfrentam dificuldades em executar as operações desejadas e explorar os dados coletados, por não possuírem familiaridade com a tecnologia em si.

Para resolver este problema, são sugeridos alguns atributos que poderiam contribuir para melhorar a experiência do usuário. Para facilitar a execução das funções básicas em dispositivos móveis, operações como clicar, arrastar e desenhar são bem aceitas pelos agricultores. Para facilitar a compreensão dos dados coletados, a disponibilização de relatórios, utilizando tabelas, gráficos e mapas são bem recebidos. Em contrapartida, textos desnecessários e informações de processos computacionais devem ser evitados, por não contribuírem para o objetivo principal do usuário. Estas informações são utilizadas para guiar o foco deste trabalho, utilizando as funções descritas como positivas para a experiência de usuário no desenvolvimento do aplicativo.

Para a tarefa de irrigação automática de plantações, a abordagem de Roeck e Silva (2016) é considerada uma solução prática, que utiliza o Arduino e sensores para coleta e ativação da irrigação. Em conjunto com o protótipo desenvolvido, foi construído uma aplicação web para configuração do sistema. Em relação à arquitetura, a aplicação

é hospedada na nuvem e o protótipo se comunica através de uma rede sem fio. Apesar do conceito de experiência de usuário não ser abordado nesta pesquisa, o dispositivo que captura os dados da planta foram utilizados como base para o desenvolvimento do ambiente neste trabalho.

Por fim, temos a pesquisa de Aronson (2013), que oferece uma solução para todo o ciclo da plantação, desde inserção das sementes no solo até o cultivo e monitoramento das plantas. Unido a um sistema open-source, esta pesquisa demonstra um foco na experiência de usuário, utilizando representações visuais do terreno e operações de arrastar e soltar no momento de plantio das sementes. Por ser uma das soluções mais completas encontradas e possuir o foco na experiência de usuário, esta pesquisa serviu como inspiração para desenvolvimento da solução deste trabalho, porém com o diferencial de buscar um custo reduzido, com uma aparelhagem genérica.

4 Proposta de solução - *Smart Rain*

Ao observar os desafios encontrados nos projetos relacionados, em conjunto com uma análise da pesquisa bibliográfica realizada, percebe-se dois aspectos que possibilitam uma maior adesão do IoT no contexto agrícola: escalabilidade e experiência de usuário. Tendo em vista estas características, foi feita uma proposta de solução nesta seção.

A solução proposta é denominada *Smart Rain*, sendo composta de um sistema responsável pelo processamento de dados, um aplicativo que interage diretamente com o cliente e um equipamento de coleta e ativação da irrigação. Em conjunto, é proposto uma arquitetura que garante que cada aspecto atinja os atributos de qualidade.

4.1 Metodologia

A metodologia tem como objetivo planejar, prever e assegurar um padrão a ser seguido de forma a garantir a qualidade dos resultados obtidos. Para isso foi utilizado o design science para o desenvolvimento do projeto.

O principal objetivo do design science é obter conhecimento novo no contexto da pesquisa. Para isso, as etapas de pesquisa são realizadas em ciclos. Dado o problema em questão, foram levantadas teorias que o solucionam e a partir delas foi desenvolvido um protótipo. A utilização e desenvolvimento do protótipo foram utilizados para testar as teorias propostas. Não foi necessário neste trabalho, porém o design science prevê o desenvolvimento de um novo protótipo com o novo conhecimento gerado, de forma à continuar o ciclo até que o problema seja solucionado ou a contribuição de novos conhecimentos seja satisfatória.(NADA, a)

4.2 Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais (RF) definem todos os problemas e necessidades que precisam ser atendidos pela *Smart Rain*.

RF01 - Cadastro de plantas

O aplicativo deve permitir o cadastro de uma nova planta e seu equipamento, utilizando os atributos de nome da planta, identificador do equipamento, unidade mínima e temperatura máxima no formulário de cadastro. É necessário que apenas equipamentos novos (que não estão associados a nenhuma outra planta) estejam disponíveis para seleção no momento do cadastro.

RF02 - Listagem de plantas

O aplicativo deve permitir visualizar a lista de todas as plantas cadastradas, disponibilizando seus dados de umidade, temperatura e luminosidade mais recentes, assim como a data da última coleta de dados.

RF03 - Pesquisa de plantas

O aplicativo deve permitir a pesquisa por plantas através do seu nome, na mesma tela de listagem descrita no RF02.

RF04 - Visualizar detalhes da planta

O aplicativo deve permitir visualizar uma tela de detalhes da planta, contendo, além dos dados descritos no RF02, indicativo de chuva e configurações de irrigação.

RF05 - Edição de plantas

O aplicativo deve permitir edição de plantas cadastradas ao acessar a sua tela de detalhes, mantendo a mesma regra informada no RF01.

RF06 - Exclusão de plantas

O aplicativo deve permitir a exclusão de plantas ao acessar a sua tela de detalhes.

RF07 - Cadastro automático de Controladores

O equipamento deve cadastrar seu identificador automaticamente ao ser conectado na rede, sem necessidade de ação do usuário.

RF08 - Coleta de dados da planta

O equipamento deve coletar os dados de umidade do solo, temperatura, luminosidade e indicativo de chuva para a planta em que se encontra. Estes dados devem ser armazenados no sistema.

RF09 - Ativação de Irrigação

O equipamento deve acionar a irrigação de uma planta caso seus dados coletados

estejam de acordo com as configurações estipuladas pelo usuário.

4.3 Atributos de qualidade

Os atributos de qualidade, também conhecidos como requisitos não-funcionais, são um ponto chave para alcançar o sucesso do produto, e por isso são os principais fatores de decisão para escolha de uma arquitetura. O principal atributo de qualidade que foi abordado na Smart Rain foi o da experiência de usuário, em que foi realizado uma avaliação como forma de assegurar o cumprimento deste requisito, que se encontra na seção 6 "Análise do ambiente desenvolvido". Apesar de não terem sido avaliados, os atributos de escalabilidade, desempenho e eficiência também foram levados em consideração.

A experiência de usuário engloba a satisfação com toda e qualquer interação com o sistema. Aspectos como facilidade de aprendizado, utilidade, processos intuitivos, contribuem para uma experiência satisfatória. É um ponto chave para soluções envolvendo IoT, pois estão diretamente relacionados com a aceitação de um produto, e até mesmo da tecnologia em si.

A escalabilidade define a capacidade de expansão do produto mantendo o mesmo padrão de serviço prestado. No contexto agrícola, é importante que seja possível aumentar a quantidade de plantações monitoradas e de dispositivos móveis acessando a interface de usuário sem perda de desempenho.

O desempenho é um conceito que impacta diretamente em cada aspecto do sistema, pois ele caracteriza o tempo de resposta entre as diversas requisições realizadas. Por exemplo, um sistema lento pode causar um detrimento na experiência do usuário e favorecer a descontinuidade do produto.

E por fim, a eficiência do produto garante que os recursos, sejam eles financeiros, energéticos ou hídricos, estejam sendo utilizados da melhor forma possível, sem desperdício para o usuário ou para o produtor.

4.4 Arquitetura

Conforme citado anteriormente, a escolha da arquitetura precisa ser feita de modo a garantir que os atributos de qualidade sejam atingidos. Inicialmente a arquitetura seria composta pelos equipamentos e aplicativos se comunicando diretamente com o sistema localizado na nuvem, que ficaria responsável por todo o processamento de dados. Entretanto, levando em conta a necessidade de um tempo de resposta curto e redução de custo, a abordagem proposta foi utilizar uma arquitetura baseada nos conceitos de borda, neblina e nuvem. Dessa forma, como o processamento de dados vira responsabilidade da neblina, o tempo de resposta com as bordas é reduzido, assim como o custo com a nuvem.

Em mais detalhes, o funcionamento se dá através da conexão de duas bordas: uma contém os equipamentos compostos por um conjunto de controladores e sensores responsáveis por coletar os dados da plantação e acionar a irrigação, e a outra borda contém os dispositivos móveis responsáveis por permitir a comunicação do usuário com o sistema, através de um aplicativo. Na neblina temos as aplicações responsáveis por se comunicar com ambas as bordas. E por fim, a nuvem serve como uma forma de backup dos dados de todo o sistema. A Figura 4.1 ilustra a arquitetura utilizada.

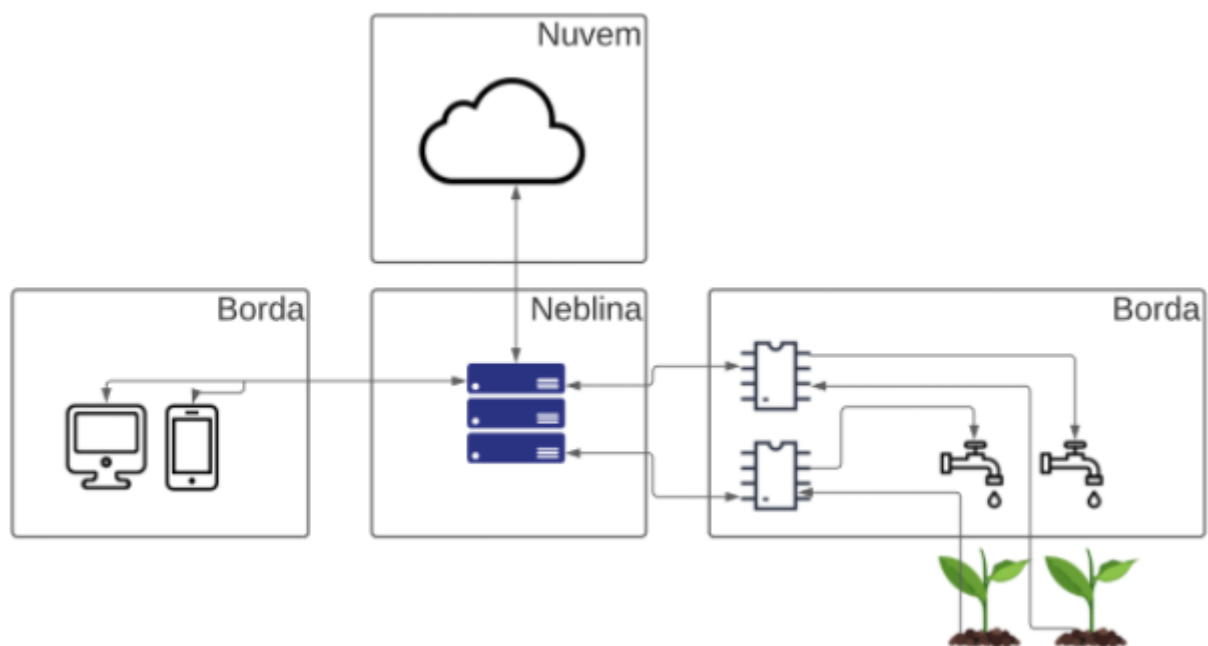


Figura 4.1: Visão geral da arquitetura

4.5 Bordas

Abordando o detalhe de cada módulo, na borda dos equipamentos foi utilizado um controlador dos sensores capaz de se conectar com a internet via WiFi. A fim de capturar os dados da plantação, temos quatro tipos de sensores: um de umidade de solo, um de temperatura, um fotoresistor e um de chuva. Para ativar a irrigação da plantação, foi utilizado uma válvula solenóide. O código presente em cada controlador permite que, no momento da ativação, o cadastro do mesmo esteja no sistema automaticamente, bastando apenas o usuário ter em mente o seu identificador no momento da configuração. A definição dos componentes utilizados podem ser encontrados na seção 5.1 "Definição dos equipamentos".

Na borda dos dispositivos móveis, temos um aplicativo capaz de informar as plantações cadastradas, assim como os dados de sua última medição. Através do aplicativo, é possível editar, cadastrar e excluir as plantações no sistema. Cada plantação tem um identificador, equipamento associado e configurações de irrigação, o que possibilita definir uma temperatura máxima e umidade mínima para acionamento.

4.6 Neblina

Na neblina, temos duas APIs (*Application Programming Interface*): uma responsável por se comunicar com a borda dos usuários (possibilitando as funcionalidades citadas) e a outra com a borda dos equipamentos (para obtenção dos dados e decisão do acionamento da irrigação). Ambas as APIs também têm a funcionalidade de enviar os dados para a nuvem. Por fim, temos um banco de dados SQL (*Structured Query Language*) que ficará responsável por armazenar os dados de ambas as bordas.

4.7 Nuvem

Na nuvem, temos uma rotina que de tempos em tempos faz a requisição dos dados atualizados armazenados na neblina para armazenar no banco de dados da própria nuvem, seguindo o conceito de backup citado anteriormente. Apesar de não ter sido abordado

neste trabalho, estes dados possuem grande importância analítica, podendo ser usados para geração de relatórios, dashboards e até mesmo como base de dados para aplicação de inteligência artificial, como forma de auxiliar em tomadas de decisão.

5 Desenvolvimento do ambiente *Smart Rain*

A partir das decisões abordadas no capítulo anterior, foi possível iniciar a implementação da arquitetura Smart Rain. É possível dividir as motivações por trás das decisões de escolha de ferramentas em experiência acadêmica e profissional, baseado na melhor adequação ao contexto apresentado.

As ferramentas constituem-se de atuadores, sensores, plataformas, linguagens e persistência. Mesmo nos casos em que a motivação se deu pela experiência, foi levado em conta a compatibilidade com os atributos de qualidade definidos. A seguir será feita uma descrição das ferramentas a serem utilizadas.

5.1 Definição dos equipamentos

No caso do controlador optou-se por um dispositivo que fosse compatível com a linguagem Arduino, devido à facilidade de encontrar projetos semelhantes que utilizam essa linguagem. Sendo assim, optou-se pelo módulo WiFi ESP32s, que possibilita a conexão com a internet via WiFi ao mesmo tempo que permite utilização da IDE Arduino. A figura 5.1 mostra o modelo utilizado.



Figura 5.1: Módulo ESP32s de 38 pinos

Para captar os dados da plantação, foram utilizados sensores de umidade, luminosidade, temperatura e chuva, resistivos que são simples e de baixo custo. Para ativação da irrigação, foi utilizado um solenóide compatível com o controlador, que permite a passagem de água dado o recebimento de uma corrente elétrica. Os modelos utilizados podem ser observados na figura 5.2, no qual 5.2.A temos o sensor de umidade, 5.2.B o de temperatura, 5.2.C o de luminosidade e no 5.2.D de presença de chuva.

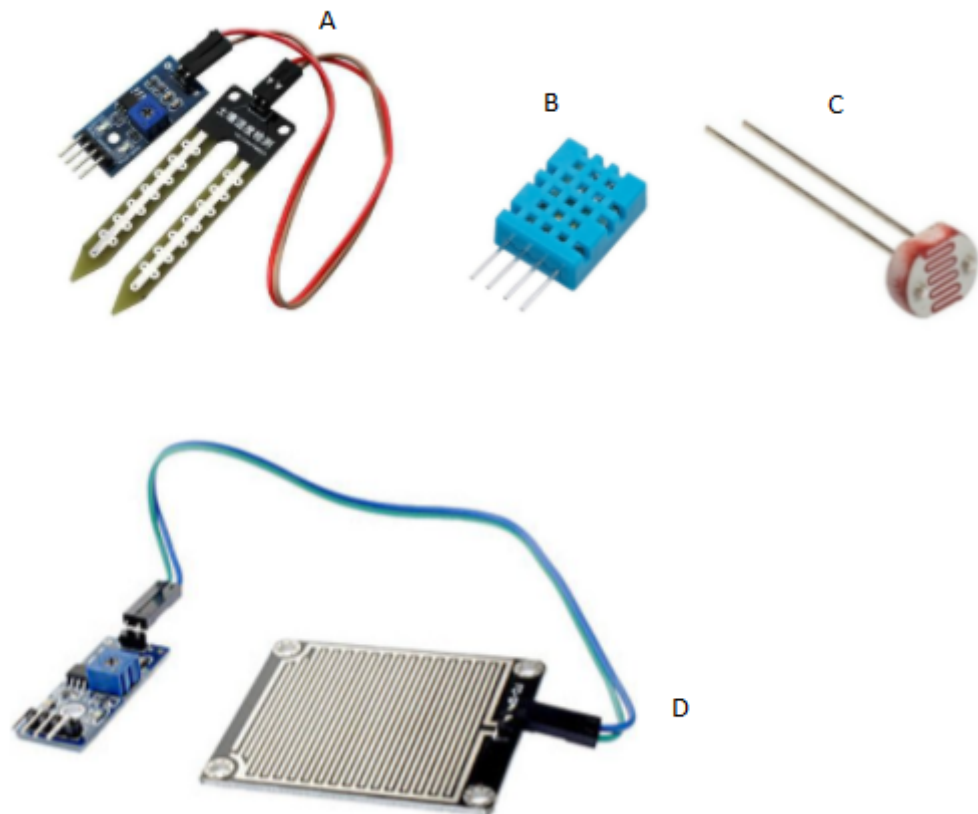


Figura 5.2: Sensores de ambiente utilizados na Smart Rain

5.2 Definição das plataformas

Para hospedagem das APIs na neblina, foi utilizado um computador de uso pessoal, de forma a simular um servidor na plantação. Já na nuvem, foi feita hospedagem utilizando os serviços da Microsoft, através da ferramenta Azure, que possibilita uma integração fácil e rápida com a linguagem utilizada nas APIs.

5.3 Definição das linguagens e bibliotecas

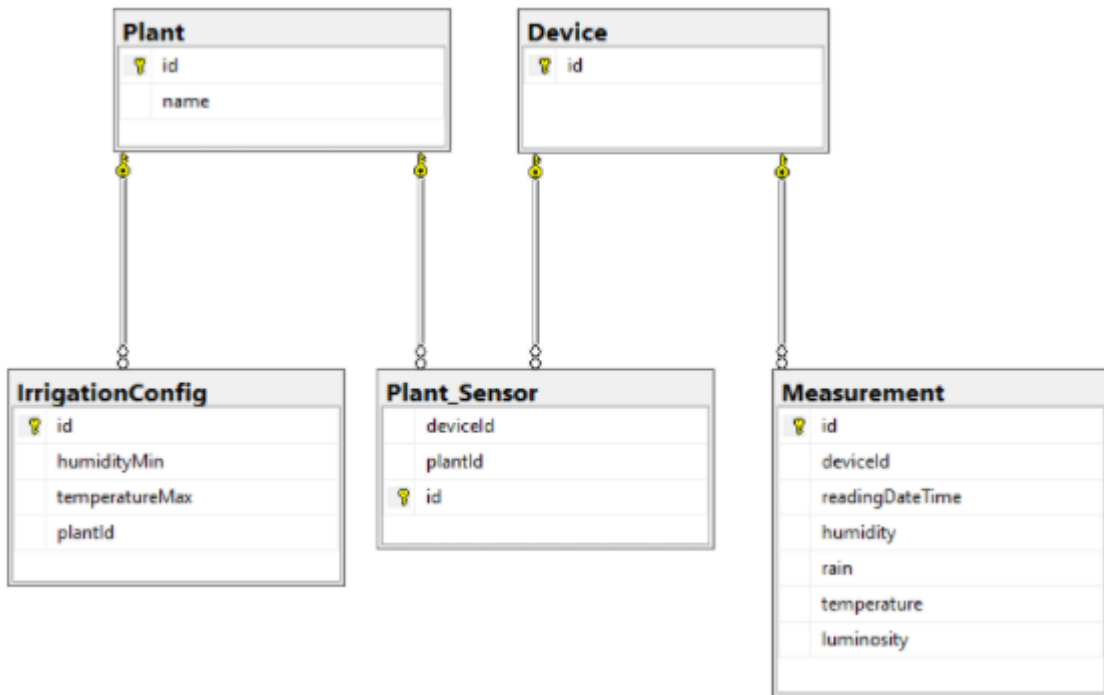
Para o desenvolvimento no controlador, foi utilizado uma linguagem padrão inerente do dispositivo, a linguagem C. Através dela, o controlador faz a coleta dos dados dos sensores, armazena esses dados, realiza as requisições HTTPS com a API com as configurações do cadastro, verifica a necessidade de irrigação, e se for o caso, acionar a mesma.

Para desenvolvimento das APIs que se encontram na neblina e na nuvem, foi utilizado a linguagem C .NET 6 devido a experiências prévias e no caso da nuvem, possuir fácil integração com o Azure. Também foi utilizado a biblioteca Dapper para comunicação com o banco de dados, por possibilitar migração entre diferentes plataformas com baixo custo de programação. Para desenvolvimento do aplicativo de dispositivos móveis, foi utilizado o framework Flutter, devido à sua performance superior se comparado a outras linguagens não nativas, e ao suporte nativo fornecido pela sua equipe de desenvolvimento, não sendo necessário recorrer a bibliotecas de terceiros.

5.4 Definição da persistência

Para persistência dos dados realizados tanto na neblina quanto na nuvem, foi utilizado um banco de dados SQL, o Microsoft SQL Server, devido a familiaridade com a ferramenta. Apesar de um banco de dados NoSQL ser comumente recomendado para soluções que utilizam o conceito de IoT, como as consultas realizadas não são muito complexas, chegou-se a conclusão que não seria prejudicial ao objetivo deste projeto (o design de tabelas pode ser visualizado na figura 5.3).

Figura 5.3: Diagrama do banco de dados



5.5 Implementação do controlador

A implementação física do controlador com os sensores e solenóide, se deu através da conexão utilizando uma placa de ensaio. A figura 5.4 ilustra o esquema de montagem, sendo possível visualizar quais pinos foram utilizados.

Para a montagem, foi utilizado a mesma escolha de cores, na qual para cargas negativas é utilizado um fio de cor azul, positivas um fio de cor vermelha e os de cor verde indicam a passagem de dados. A figura 5.5 mostra o equipamento conectado à uma planta.

A implementação do código do controlador pode ser dividida em 3 etapas: i) ao ser ativado, um algoritmo realiza uma requisição para a API para armazenar o identificador do mesmo ii) em um loop de 10 em 10 minutos, os dados são coletados e é feita uma requisição para armazená-los. Foi escolhido este período de tempo com o intuito de economizar com gastos energéticos e prolongar a durabilidade dos sensores; e iii) ainda dentro do loop, é feita uma requisição que informa se é necessário ativar a irrigação.

Figura 5.4: Esquema de montagem do equipamento

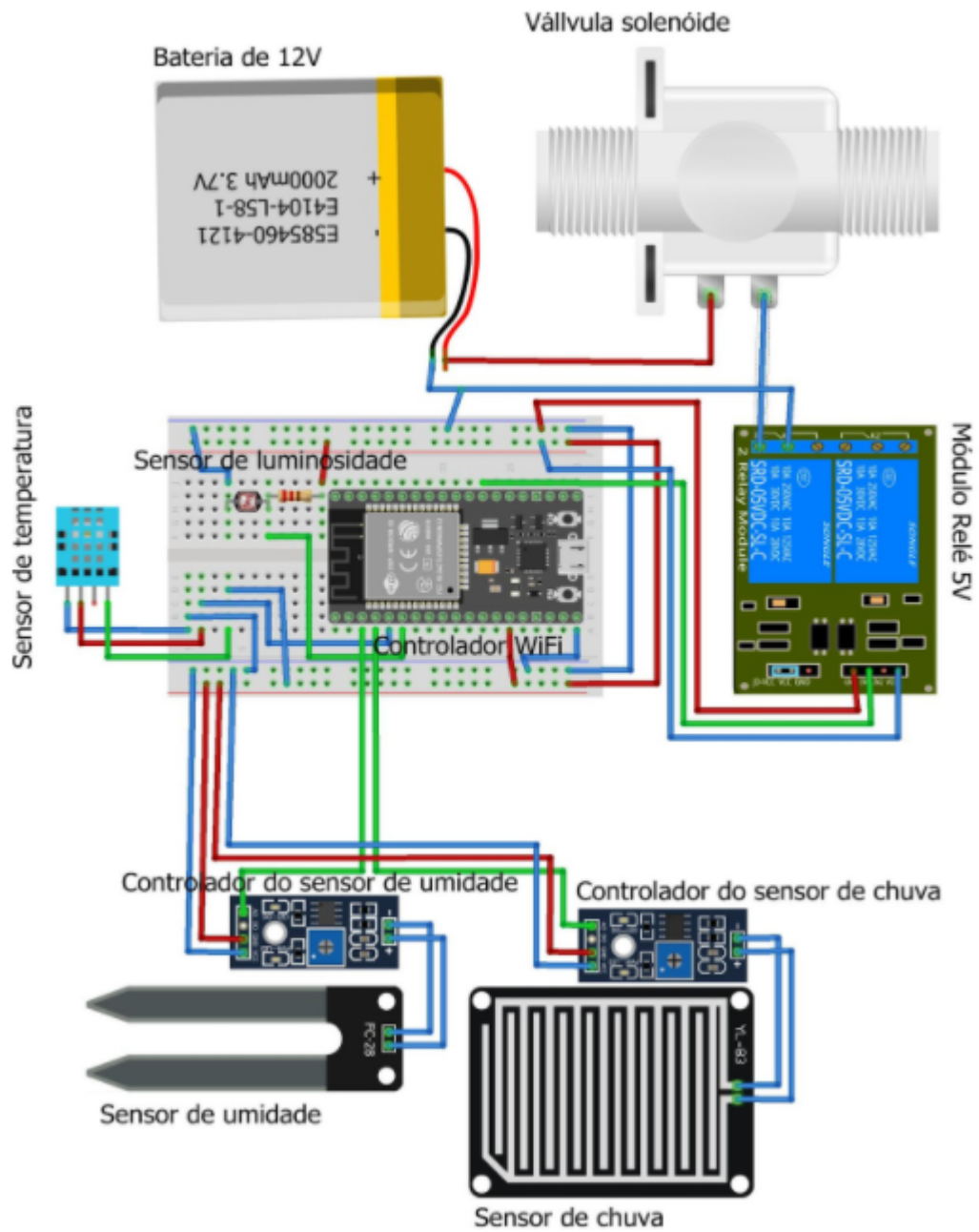


Figura 5.5: Montagem do equipamento conectado à uma planta



5.6 Implementação das APIs de neblina

As aplicações que se comunicam com as bordas consistem em APIs seguindo o padrão RESTful de dados em formato JSON tanto via https quanto http. Os métodos seguem o padrão GET, POST, PUT e DELETE, para obtenção, persistência, edição ou deleção de dados, respectivamente. No caso da API que se comunica com os equipamentos, há apenas métodos GET e POST. Foi utilizado a estrutura DDD (Domain Driven Design) para organização da aplicação. A conexão com o banco de dados é feita através da biblioteca Dapper e sua hospedagem é feita localmente.

A implementação da API de nuvem segue os mesmos padrões informados na API de neblina, apenas com a diferença da hospedagem ser realizada no Azure.

5.7 Implementação do aplicativo

A implementação do aplicativo foi realizada utilizando o framework Flutter, que por sua vez utiliza a linguagem Dart. Foi utilizado o Android Studio como IDE, devido à familiaridade com a ferramenta. O aplicativo consiste de 3 telas, uma tela principal, uma de detalhes e uma de formulário. Manteve-se a preocupação de diminuir ao máximo a quantidade de cliques necessários para realizar as ações, tendo como prioridade a experiência do usuário.

A tela principal serve para visualizar e pesquisar plantas cadastradas, juntamente com os seus dados de umidade, luminosidade e temperatura, com um botão que permite o cadastro de novas plantas. Se não houver nenhuma planta cadastrada, aparece uma mensagem informando onde deve ser clicado para fazer o primeiro cadastro. Ao clicar no botão de criação, aparece uma tela de formulário, com os campos de nome, equipamento, temperatura máxima e umidade mínima para serem preenchidos. Só é possível selecionar um equipamento em uma lista.

Na página de cada planta cadastrada aparecem seus dados de umidade, luminosidade, temperatura da última medição realizada (com data e hora), assim como o indicativo de chuva e as configurações de irrigação. Nessa tela também possui um botão com as opções de edição ou exclusão da planta. Ao clicar na edição, aparece a mesma

tela de formulário de criação, porém com os campos preenchidos de acordo com a planta em questão.

Todos os dados que aparecem na tela, assim como o cadastro e edição, são obtidos e realizados através de requisições na API de usuário

A figura 5.6 ilustra as telas desenvolvidas. Na 5.6.A temos a tela inicial, com a listagem de plantas cadastradas. Na 5.6.B temos o formulário de cadastro de plantas, que também é utilizado para edição. Na 5.6.C temos a tela de detalhamento de uma planta, com os botões de edição e exclusão. E por fim na 5.6.D temos a tela de confirmação de exclusão de uma planta.

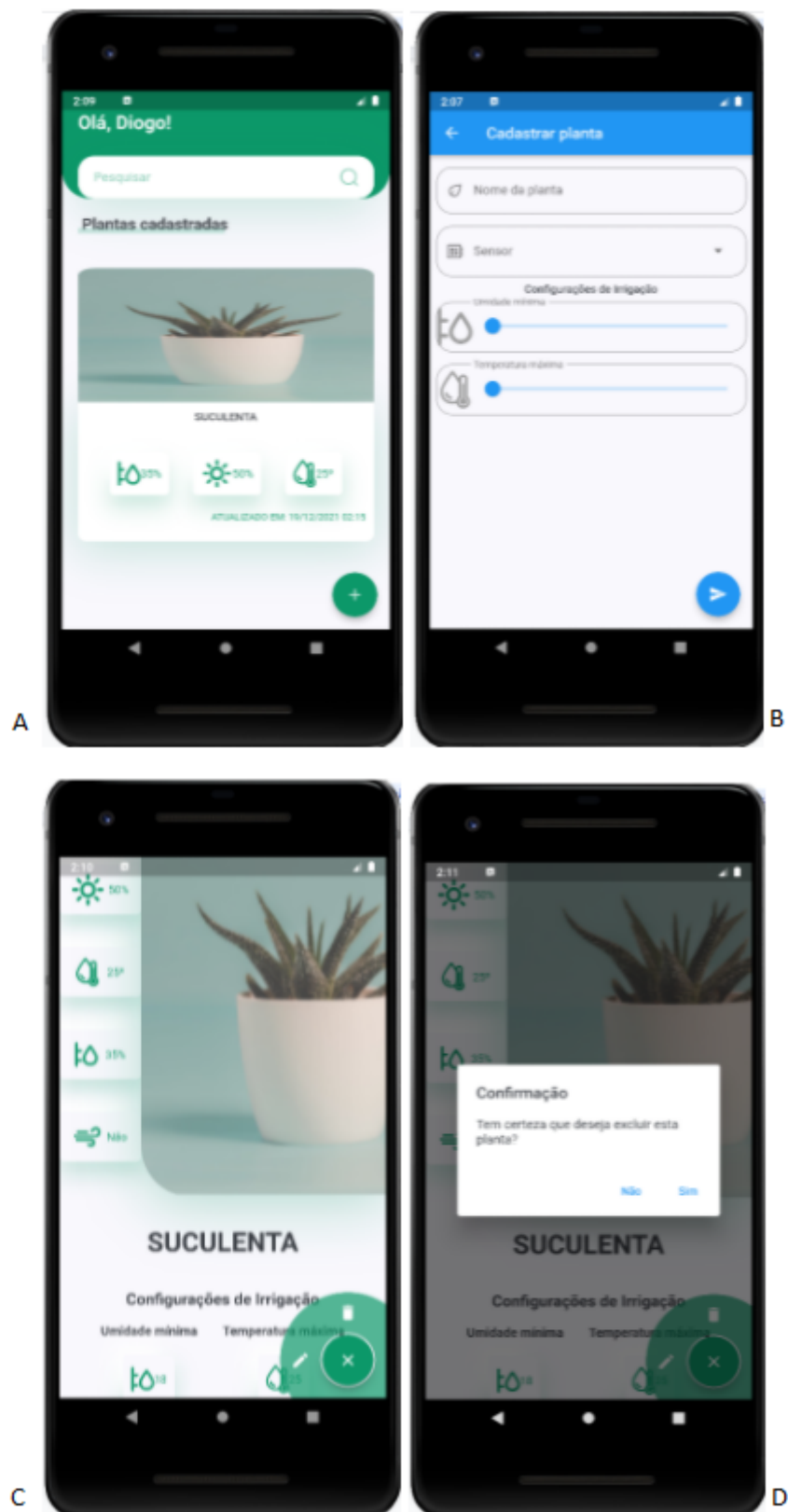


Figura 5.6: Design das telas desenvolvidas no aplicativo

6 Análise do ambiente desenvolvido

Com o sistema totalmente implementado, é necessário realizar algumas configurações: a publicação do aplicativo em um dispositivo móvel, início das APIs de neblina que estão hospedadas localmente, conexão do equipamento à uma fonte de energia, garantindo conexão com a internet WiFi, e conexão do solenóide à uma fonte de água corrente.

Para descrição dos cenários, foram utilizadas histórias de usuário. Para isso, tivemos dois voluntários que testaram as funcionalidades do aplicativo, com o intuito de avaliar métricas como quantidade de cliques e tempo para realizar cada ação. Os voluntários foram encorajados a emitir comentários sobre a experiência e sugerir melhorias.

6.1 Caracterização dos participantes

Para testar a intuitividade do aplicativo, os participantes não receberam instruções de como usá-lo, apenas as funcionalidades que precisam executar e uma contextualização do cenário como um todo.

Um dos participantes selecionados, que chamaremos de A, tem 61 anos e pouca familiaridade com tecnologia em geral. Faz o uso de celular, porém apenas para ligações e possui o hobby de cultivar plantas em ambiente domiciliar. O segundo voluntário, que chamaremos de B, tem 55 anos, possui familiaridade com tecnologia e faz um uso considerável de celular e aplicativos diversos.

6.2 Histórias de usuário

Como forma de colocarmos em prática o ambiente e avaliarmos seu desempenho como um todo, foram utilizadas descrições práticas das funcionalidades num cenário real, definidas como histórias de usuário.

6.2.1 Cadastro de plantas

Esta funcionalidade consiste na seguinte história: “Eu como usuário, desejo cadastrar uma planta, personalizar seus parâmetros e automatizar sua irrigação. Quero conseguir definir quais são os parâmetros de irrigação e associar o dispositivo correto.”

Após a execução da história, o participante A não conseguiu executar a funcionalidade por completo. Foi observada uma dificuldade em entender o significado dos botões de criação e de envio de formulário. Após cerca de dez minutos, o mesmo desistiu de prosseguir com o uso do aplicativo. Por esse motivo, apenas o voluntário B testou as próximas funcionalidades. O participante B conseguiu concluir a tarefa em quarenta e seis segundos, entendendo intuitivamente o significado dos botões mencionados.

6.2.2 Visualização de plantas

Esta funcionalidade consiste na seguinte história: “Eu como usuário, desejo visualizar minhas plantas cadastradas logo ao abrir o aplicativo. Quero saber quais são suas medições e verificar se as medições estão no prazo correto.”

O participante B compreendeu de prontidão que suas plantas cadastradas ficariam listadas na tela inicial do aplicativo, assim como quais medições estavam presentes e qual foi a última data de coleta de dados.

6.2.3 Detalhes da planta

Esta funcionalidade consiste na seguinte história: “Eu como usuário, desejo visualizar as configurações de irrigação de uma planta e verificar se alguma chuva aconteceu em determinado período.”

Nesta funcionalidade, o participante B apresentou dificuldades em entender que ao clicar no cartão da planta cadastrada, seria direcionado para a tela de detalhes da planta, chegando à essa conclusão após um clique aleatório na imagem da planta. Por conta disso, o tempo gasto para executar essa história foi de três minutos e trinta e três segundos.

6.2.4 Edição da planta

Esta funcionalidade consiste na seguinte história: “Eu como usuário, desejo editar todas as informações de uma das plantas cadastradas.”

O participante B também apresentou dificuldades para execução desta tarefa. Ao acessar a tela de detalhes da planta, não foi observado a existência do botão de configuração, o que acarretou em diversas navegações entre as telas de cadastro, listagem e detalhamento. Novamente após um clique aleatório, o participante visualizou o botão de edição (representado por um lápis), e intuitivamente entendeu a sua utilidade, concluindo a funcionalidade logo depois. Um questionamento levantado pelo participante, foi o de porquê não era possível selecionar o equipamento que estava cadastrado em outra planta. O tempo total de execução desta história foi de oito minutos e quarenta e seis segundos.

6.2.5 Exclusão da planta

Esta funcionalidade consiste na seguinte história: “Eu como usuário, desejo excluir uma planta que cadastrei por engano”.

Como o participante B já havia observado o botão de exclusão (representado por uma lixeira) ao executar a história de edição, rapidamente conseguiu executar a funcionalidade, levando apenas quatro segundos para tal.

6.3 Observações dos participantes

Conforme citado anteriormente, o participante A não conseguiu seguir com a avaliação, encontrando muita dificuldade em entender quais eram as operações executadas por cada botão. Como sugestão, recomendou o uso de alguma forma de tutorial de como utilizar o aplicativo. O participante B demonstrou satisfação com o aplicativo, relatando apenas o não entendimento da associação de equipamentos, informada na história de edição.

Estas avaliações demonstram o quanto um design intuitivo do aplicativo depende de uma familiaridade prévia com aplicativos no geral. Para um usuário que não utiliza muito dispositivos móveis, botões representados por um símbolo de adição ou por uma seta, acabam não se comunicando de forma satisfatória, sendo necessário explicações

textuais ou guias para auxiliar na execução de uma ação. Outro ponto importante é que a característica de equipamentos associados a apenas uma planta, descrita no RF01, não é intuitiva para o usuário, sendo necessário alguma forma de explicação.

Como forma de melhoria, a inclusão de um tutorial interativo, seguindo o fluxo padrão de execução das funcionalidades, com uma explicação de cada etapa é uma solução a ser considerada. Em relação à associação de equipamentos, uma alternativa é a adição de um botão no campo de seleção que ao clicar, mostra uma janela contendo uma breve descrição do funcionamento da associação.

7 Conclusão e trabalhos futuros

A busca pelo aumento da produtividade e eficiência na agricultura resultou no desenvolvimento de diversas novas tecnologias ao longo dos anos. Até o modelo de agricultura 3.0, essas tecnologias demandavam a contratação de mão de obra especializada para operar os maquinários e ferramentas. Já no modelo atual, a tendência foi reduzir a necessidade dessa mão de obra especializada, e portanto, a simplificação no uso da tecnologia é considerado um requisito não só para escolha do produto, mas também para aceitação geral do avanço.

Tendo em vista este cenário, o presente trabalho busca utilizar ferramentas da IoT para solucionar problemas da agricultura 4.0, com uma visão focada na experiência de usuário. Para tal, foi construído um equipamento capaz de coletar dados de uma planta e de acordo com as configurações realizadas pelo usuário, ativar uma irrigação automática. Para interagir com o sistema, foi desenvolvido um aplicativo que permite visualizar os dados coletados e realizar as configurações de irrigação. Em conjunto, foi utilizada uma arquitetura capaz de proporcionar uma escalabilidade e eficiência, aspectos de grande importância no contexto de IoT e agricultura.

A partir dos experimentos realizados com dois voluntários que representam o público alvo, foi possível perceber que a experiência prévia com aplicativos de dispositivos móveis é um ponto chave para o sucesso do design desenvolvido. Quando essa experiência não está presente, o uso do aplicativo torna-se muito complicado para o usuário. Além disso, é importante levar em conta que funcionalidades específicas do meio físico, como a associação de equipamentos a apenas uma planta, precisam ser esclarecidas através do aplicativo, a fim de evitar conclusões equivocadas pelo usuário.

Como contribuição, o presente trabalho apresentou uma arquitetura utilizando os conceitos de nuvem, neblina e bordas para automatização da irrigação em ambientes assistidos. Como forma de colocar esta arquitetura em prática, foi apresentado um esquema de montagem do equipamento, utilizando dispositivos de baixo custo aquisitivo. E como forma de interface entre o usuário e o sistema, foi disponibilizado o design das telas

utilizadas no desenvolvimento, que possuem o foco de atender o atributo de qualidade de experiência do usuário, característica chave para ampla aceitação de soluções IoT na agricultura.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode ser de grande valia novos experimentos aumentando a quantidade de equipamentos para observar a escalabilidade da Smart Rain e como os outros atributos de qualidade relacionados se comportam com essa ampliação. Além disso, no desenvolvimento do aplicativo é preciso aprimorar o design, de forma que possibilite uma experiência de usuário satisfatória tanto para quem possui um conhecimento prévio com aplicativos quanto para quem não é muito familiarizado com tecnologia (por exemplo, pela disponibilização de tutoriais interativos). Também é necessário aprimorar o aproveitamento dos dados coletados na nuvem, o que pode ser feito através da disponibilização de relatórios e dashboards no aplicativo. É muito pertinente a utilização dos dados também como base para uma inteligência artificial capaz de auxiliar o usuário nas tomadas de decisão, como, por exemplo, na configuração de irrigação.

Por fim, a Smart Rain requer alguns aprimoramentos no design do aplicativo, mas apresenta uma solução moderna, tecnológica e de baixo custo para um problema recorrente na agricultura atual. Sua utilização não depende de mão de obra especializada e possui uma ampla utilidade na manutenção de hortas domiciliares.

Bibliografia

AGRICULTURA, P. e. A. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da. Visão 2030 o futuro da agricultura brasileira. In: . [S.l.]: EMBRAPA, 2018. p. 11–30, 64–83, 96–105, 134–147. ISBN 978-85-7035-799-1.

AMARO, G. B. et al. Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar. In: HENZ, G. P. et al. (Ed.). *Circular Técnica*. Anápolis, Brasília: Embrapa: Programa Hortaliças, 2007. v. 47, p. 01–04. ISBN 1415-3033.

ARONSON, R. L. *Humanity's open-source automated precision farming machine*. [S.l.], 2013. 7-13 p. Disponível em: <https://farm.bot/blogs/news/the-farmbot-whitepaper>.

GOKHALE1, P.; BHAT2, O.; BHAT3, S. Introduction to iot. In: IARJSET (Ed.). *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. [S.l.: s.n.], 2018. (1, v. 5), p. 01–02. ISBN 2393-8021.

PÉREZ, T. V.; CAMARGO, J. alberto; RODRÍGUEZ-CHINCHILLA, A. M. Evolution of ubiquitous computing. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1587, p. 2–5, 07 2020.

RIBEIRO, J. G.; MARINHO, D. Y.; ESPINOSA, J. W. M. Agricultura 4.0: Desafios à produção de alimentos e inovações tecnológicas. In: GOIÁS, U. F. de (Ed.). *Simpósio de Engenharia de Produção*. Catalão, Goiás: Universidade Federal de Goiás, 2018. p. 02,06.

ROECK, A. G. W.; SILVA, L. W. da. Smart gardens - automação e monitoramento inteligente da agricultura. In: CATARINA, C. T. da Universidade Federal de S. (Ed.). Santa Catarina, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. p. 10–19, 74.

ZHAI, Z. et al. Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. In: MADRID, U. P. de (Ed.). *Computers and Electronics in Agriculture*. Madrid, Spain: Universidad Politécnica de Madrid, 2020. v. 170, p. 01–02, 11–13. ISBN 28031.