

Horta Inteligente: Uma Alternativa de Baixo Custo do Projeto FarmBot Baseado em Internet das Coisas (IoT)

Letícia Fritz Henrique^{1,2}, Beatriz Barbosa Franco Ramos¹, Bruno Barbosa do Amaral¹, João Vitor Oliveira Pereira¹, Juliana Martins Torres¹, Marília de Mello Amorim Novais e Silva¹, Tessa Hamond Coutinho da Silva¹, Daniel Henrique Nogueira Dias¹

¹Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, RJ, Brasil.

²Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Juiz de Fora, MG, Brasil.

E-mails: leticia.henrique@engenharia.uff.br; beatrizbfr@id.uff.br; amaral_bruno@id.uff.br; joao_pereira@id.uff.br; julianamt@id.uff.br; mariliamello@id.uff.br; tessahamond@id.uff.br; dhndias@id.uff.br

Abstract: *There are several incentives towards the cultivation of the urban garden, due to the benefits in health and environmental areas. These crops have needs regarding their cultivation and usually are built-in public spaces, however, that is not always possible. Therefore, the arrival of automation in this sector can contribute to the incentive of residential vegetable gardening in which the control and monitoring are made remotely, within a small space. Thus, this article describes the stages of the development of a smart and low-cost vegetable garden, built from pieces made using a 3D printer, that uses the framework Technologies of the internet of things.*

Resumo: Atualmente, os incentivos para o cultivo de hortas urbanas têm crescido no mundo todo, uma vez que esta prática proporciona diversos benefícios nas áreas da saúde e meio ambiente. No geral, essas hortas necessitam de cuidados com o cultivo e usualmente são construídas em espaços públicos, condições que muitas vezes não são possíveis de serem alcançadas. Dessa forma, a presença da automação no setor pode contribuir para o incentivo de hortas residenciais em que o controle e gerenciamento são realizados de forma remota e automática, em um espaço reduzido. Neste contexto, este trabalho tem como principal objetivo descrever as etapas do desenvolvimento de uma horta inteligente de baixo custo, construída com base em projeto já existente e de código aberto, utilizando fabricação com impressora 3D, e tecnologia de *framework* da internet das coisas.

Palavras-chaves: Horta inteligente, Internet das coisas, Instrumentação de baixo custo, Agricultura 4.0, Automação, FarmBot.

1. INTRODUÇÃO

O contato com a natureza estimula o bem-estar social, psicológico e físico, fazendo com que diversos países promovam projetos de horta urbana comunitária em meios públicos como praças, parques e escolas (Egerer et al., 2019). Contudo, o crescimento populacional aliado a abertura de novas unidades comerciais, reduziram a quantidade de espaços disponíveis nas cidades destinados a estas iniciativas (Lin and Egerer, 2020). Neste contexto, visando solucionar o problema de redução das áreas verdes frente à crescente urbanização das cidades, a horta automatizada se destaca como uma alternativa sustentável a ser praticada, uma vez que colabora no incentivo ao bem-estar humano e na produção de insumos agrícolas, apresentando pequeno espaço

necessário para implementação e facilidade de manutenção e operação.

Outros benefícios da horta autônoma norteiam a independência de produtos de grandes agricultores, fazendo com que o usuário de uma horta possa cultivar seu próprio alimento e reduzir o consumo de agrotóxicos aplicados pela indústria (Lin and Egerer, 2020). Assim, as hortas automatizadas contribuem para a redução da emissão de gás carbônico (Cleveland et al., 2017), possuem independência de manuseio humano e facilidade de manutenção. Além disso, a horta inteligente possui tamanho compacto, adequando-se ao espaço disponível em residências e a rotina de trabalhadores que não dispõem de tempo para cultivar uma

horta, podendo monitorá-la em longas distâncias e em tempo real (Choque Moscoso et al., 2018; Erick et al., 2018).

A facilidade de monitoramento e independência da intervenção humana é possível devido o advento da indústria 4.0, que abrange tecnologias de automação inteligente e troca de dados (Lu, 2017). Esse elo entre troca de dados entre diferentes equipamentos e automação de produtos está relacionado a tecnologia de “Internet das Coisas” (*Internet of Things – IoT*) (Carrion et al., 2018; Lu, 2017). A IoT permite que diferentes dispositivos e equipamentos se conectem a uma malha de rede para transferir dados e executar tarefas e tomada de decisão sem a intervenção humana (Lu, 2017).

Neste cenário de desenvolvimento da tecnologia IoT e dos benefícios proporcionados pela horta urbana, surge um projeto *open source* de horta autônoma, desenvolvido nos Estados Unidos, conhecido por FarmBot (FarmBot, 2020). Desde a criação do FarmBot, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos ao redor do mundo com o intuito de investigar o potencial da horta autônoma através de diferentes sensores, condições climáticas, e infraestrutura de rede, como os protocolos de comunicação. No Peru, em (Choque M et al., 2019; Choque Moscoso et al., 2018), o processamento de imagem para reconhecimento da plantação é implementado ao FarmBot. Na Índia, em (Kumar et al., 2016), é desenvolvido um sistema de previsão das condições climáticas para o agendamento de tarefas da horta autônoma, baseado no histórico de dados do monitoramento de sensores. Na República Checa, em (DIT, FEM, CULS Prague et al., 2016), o potencial da IoT para o setor agrícola é discutido, com ênfase no estudo da arquitetura de processamento e protocolos de comunicação.

A literatura, também apresenta trabalhos que descrevem o FarmBot em seu projeto original (FarmBot, 2020), discutindo a estrutura dos motores em eixo cartesianos (Tangmongkhonsuk et al., 2018) e sua infraestrutura de rede (Hemalatha et al., 2018). Contudo, esses trabalhos não abordam os custos de hardware e de software do projeto FarmBot, em uma compreensão da importância de cada componente dentro do *framework* de automação.

Neste sentido, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de baixo custo desse sistema envolvendo camadas de estrutura mecânica, protocolos de comunicação, interface de monitoramento e controle do usuário. O sistema é desenvolvido baseado no projeto de horta automatizada *open source* visto em (FarmBot, 2020). A automação é feita por meio do sistema embarcado Arduino Mega 2560, e sua

comunicação com a rede é baseada na placa microprocessada Raspberry PI 3. Para compor o sistema eletrônico de controle, o projeto comporta sensor de umidade do solo, monitoramento do crescimento da plantação e protocolos específicos para cada tipo de planta. Além disso, a configuração mecânica é composta por perfis de alumínio para suporte da estrutura e peças confeccionadas em impressoras 3D a fim de reduzir o custo final do projeto.

A principal contribuição deste trabalho é apresentar o projeto *open source* e explorar seu funcionamento, gerando informação a fim de promover a fácil reprodução desse sistema de horta inteligente, visando a implementação nas residências e escolas, como forma de garantir os benefícios das hortas urbanas.

Este artigo está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 os estágios de desenvolvimento do projeto são detalhados, desde a parte estrutural, até a parte de *hardware* e *software*; no capítulo 3 é apresentado uma análise comparativa de custo entre as tecnologias envolvidas na horta inteligente; o capítulo 4 discute soluções e problemas nas adaptações do projeto original que foram aplicadas nesse trabalho; e por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões e propostas para pesquisas futuras.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O desenvolvimento do sistema FarmBot promove a interação entre o usuário e a horta autônoma de baixo custo, através de uma aplicação web com interface amigável. Esse projeto garante o controle da plantação a longa distância, via ponto de conexão com uma rede *wireless*, ou servidor local. As etapas de projeto do FarmBot consistem tanto na estrutura de montagem mecânica, como no *framework* da IoT, seguindo as camadas estabelecidas por (Geraldí et al., 2020): (i) dispositivos eletrônicos, como microprocessador, sensores e atuadores; (ii) nuvem, responsável pela interface de processamento e armazenamento de dados relacionados à camada de interface; e (iii) interface de usuário, que contém uma aplicação remota que se conecta aos dispositivos eletrônicos. Essas camadas, somadas a etapa de montagem estrutural, formam os estágios desse projeto, apresentados na Fig. 1.

O estágio 1 consiste na impressão das peças, montagem e modelagem da estrutura física e ferramentas que compõe o projeto. O estágio 2 é representado por sensores e atuadores que são acionados e monitorados pelos componentes do estágio 3, que são os sistemas embarcados. O estágio 4 é definido pela camada de nuvem que comunica os dispositivos

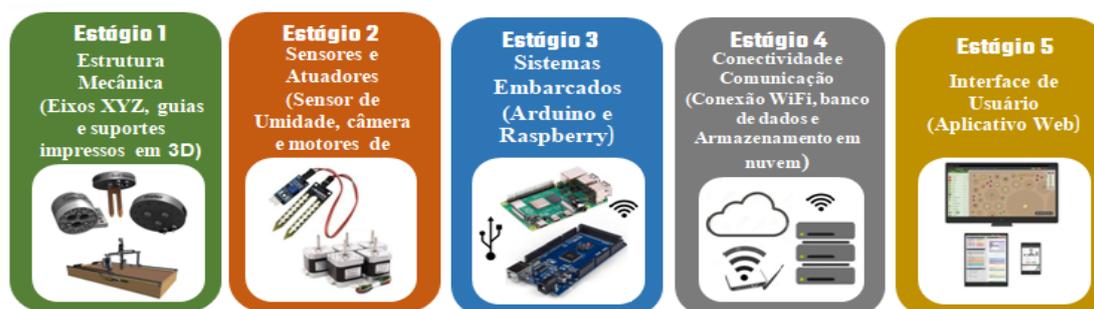


Fig. 1 Estágios do sistema Horta Inteligente, elaborado pelos autores.

do estágio 3 com a interface do usuário do estágio 5. Assim, nessa seção cada estágio é descrito de forma específica.

2.1 Estágio 1: Estrutura Mecânica

Os principais fatores por trás do design do FarmBot são: simplicidade, capacidade de fabricação, estabilidade de operação do sistema e o grande incentivo à agricultura urbana em pequena escala (FarmBot, 2020).

O FarmBot pode se movimentar nos três eixos cartesianos (X, Y, Z), através de movimentos lineares realizados por atuadores mecânicos. Nesta seção será descrita toda a solução estrutural proposta, como as principais peças que compõem os eixos cartesianos citados, o tipo de material adotado e os insumos utilizados para a impressão das peças.

A base da estrutura do FarmBot é uma mesa fixa, onde sobre ela têm-se os trilhos laterais estruturais que possuem 3 metros de comprimento e 1,5 metro de largura, totalizando 4,5m² de área para plantio.

A estrutura mecânica do FarmBot se divide em diversas peças, porém, para alcançar a autonomia da produção e redução de custos, a estrutura é composta principalmente por impressões 3D, com filamento resistente do tipo ABS (*Acrilonitrila Butadieno Estireno*). Já as peças de suporte da estrutura são de alumínio. A Fig. 2, apresenta a topologia do FarmBot, destacando as suas principais partes.

No item (A) está apresentada a mesa fixa (canteiro), constituído basicamente por tábuas de madeira fixadas entre si formando um retângulo com as dimensões descritas anteriormente. O canteiro também é responsável por sustentar os trilhos laterais e corresponde a área total de plantio.

O item (B) da Fig 2, destaca a presença do pórtico, componente estrutural de alumínio composto por perfis estruturais com ranhuras para fixação e placas impressas, que funciona como um elevador, entre o canteiro (eixo X) e a sua altura máxima (eixo Z).

Nesse mesmo item, pode-se verificar a presença do fuso vertical, estrutura reta feita em aço inoxidável formada por roscas de passos contínuos, podendo exercer altas forças de tração e transmite ao FarmBot a altura máxima e mínima permitida através de seu comprimento (FarmBot, 2020).

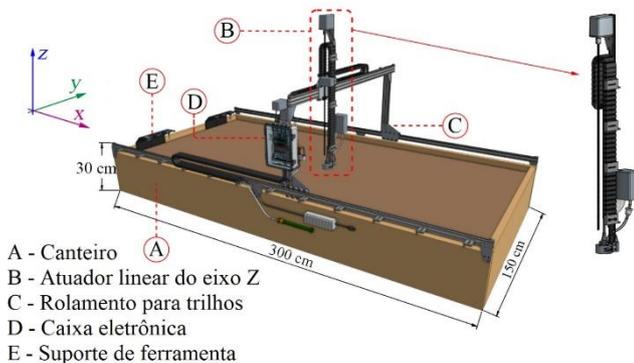


Fig. 2 Componentes estruturais do FarmBot, adaptado de (Choque Moscoso et al., 2018).

Acoplado na parte inferior do fuso tem-se o UTM (*Universal Tool Mount*), componente eletrônico responsável por permitir que o FarmBot altere automaticamente as ferramentas utilizadas no eixo Z (FarmBot, 2020), para realizar diferentes operações, como: plantar as sementes através do injetor de sementes, medir a umidade do solo através do sensor de umidade, entre outros. O UTM é uma peça chave no sistema, pois não se pode ter todas as ferramentas necessárias para o funcionamento do FarmBot montadas no eixo Z separadamente, pois aumentaria consideravelmente o peso e a tensão em toda a sua estrutura, exigindo um motor com maior potência e torque (FarmBot, 2020). O uso de mecanismos individuais para a movimentação dessas ferramentas tornaria o FarmBot mais robusto e complexo, diminuindo a sua precisão ao tocar as plantas, especialmente quando não há muito espaço disponível entre elas.

Para o controle dos movimentos lineares no eixo X, sobre os trilhos laterais presentes em todo o comprimento do canteiro, estão presentes dois carros deslizantes, destacado pelo item (C) na Fig. 2. Esses itens foram impressos em uma impressora 3D e são responsáveis por fazer a união com o eixo Y, tornando possível o deslocamento da estrutura ao longo de toda a área do canteiro, no plano XY (Choque Moscoso et al., 2018; Erick et al., 2018).

A caixa eletrônica, responsável por proteger todos os componentes eletrônicos do FarmBot, como a placa Raspberry PI 3, o sistema embarcado Arduino Mega2560 e os cabos conectores (FarmBot, 2020), encontra-se destacada pelo item (D) na Fig. 2. Nela, pode haver botões personalizáveis, como parada de emergência ou *RESET* para reiniciar o sistema.

Por fim, o item (E) na Fig. 2, representa as duas barras para acomodação das ferramentas do FarmBot. Esses componentes simples, também impressos em impressora 3D, funcionam como suportes para que o FarmBot possa mudar automaticamente a escolha das tarefas que deseja realizar. Essa troca de tarefas é projetada pelo UTM que realiza a troca dos componentes em seu compartimento por meio de um acoplamento magnético feito com anéis de ímãs permanentes (FarmBot, 2020).

2.2 Estágio 2: Sensores e Atuadores

Em um sistema de controle clássico de malha fechada, tem-se a presença de elementos como controladores, atuadores e sensores, bem como o sistema a ser controlado (Franklin et al., 2015), neste caso, o canteiro de plantação. Os controladores são o centro do sistema de controle, sendo responsáveis por receber os sinais de saída, por meio dos sensores, e gerar sinais adequados aos atuadores, para que estes possam agir sobre a malha de controle, e produzir a resposta desejada. No Farmbot, o sistema eletrônico, formado pelas placas Raspberry PI 3, Arduino e Ramps 1.4, trabalha para controlar os parâmetros da horta, coordenando a ação dos atuadores desse sistema, como os motores de passo e válvulas solenoides, a partir das informações recebidas dos sensores. A Fig. 3 exemplifica a malha de controle fechada do sensor de umidade de solo utilizado pelo FarmBot.

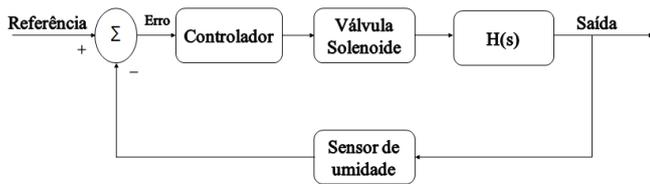


Fig. 3 Diagrama de blocos do controle de umidade do solo da horta, elaborado pelos autores.

Na Fig. 3, é possível observar a estratégia de controle da umidade do solo da plantação, em que $H(s)$ é a função de transferência que descreve o comportamento do canteiro em função da umidade do solo. A referência representa o valor ideal para esta grandeza. Desse valor, é subtraída a medida de umidade atual, obtido por meio do sensor, para gerar o sinal de erro ao controlador (Arduino). Com base na magnitude do erro, o controlador verifica se há necessidade de acionamento da válvula para irrigação do solo. Caso a diferença entre a referência e o valor de umidade do solo seja suficientemente discrepante, um sinal elétrico será enviado à válvula solenoide, que se abrirá, permitindo a passagem de água para a irrigação. Assim, a saída da malha de controle, o valor de umidade, atingirá níveis aceitáveis, reduzindo o erro, e provocando o desacionamento da válvula a partir de um certo limiar, a ser determinado pelos responsáveis do sistema.

Neste projeto, a interface de comunicação entre o usuário e o sistema eletrônico é feita via Wi-Fi com a Raspberry PI 3. Ele é conectado ao Arduino Mega 2560 por meio de uma porta USB, podendo assim, enviar e receber dados por comunicação serial. Desta forma, a Raspberry PI envia os comandos do usuário para o Arduino por meio de um código, com a linguagem de programação Código G (*G-code*), que tem a função de movimentar a estrutura nas três dimensões X, Y e Z. Além disso, o Arduino também envia para a Raspberry PI 3 os dados lidos por um sensor de umidade.

Ao Arduino, é acoplada uma placa chamada Ramps, cujo objetivo é possibilitar a conexão com os motores que serão utilizados. Esta placa facilita a conexão com os *drivers* dos motores, além de possuir uma entrada de alimentação que permite o fornecimento adequado de energia aos motores.

Este projeto possui como atuadores quatro motores de passo, uma válvula solenoide e uma bomba de vácuo. Para a movimentação da estrutura nas direções X, Y e Z são utilizados 4 motores de passo Nema 17: dois no eixo X, um no eixo Y e um no eixo Z. A válvula solenoide é utilizada no controle da água que irá regar a plantação. Essa válvula possui estado normalmente fechado, abrindo-se para a passagem de água somente quando energizada. Além desses atuadores, a ferramenta que realiza a plantação de sementes faz uso da bomba à vácuo. Esta bomba faz a sucção das sementes, que por sua vez ficam presas na ponta de uma agulha e assim podem ser levadas para o local onde serão inseridas.

Para realizar as leituras das propriedades do solo é utilizado o sensor de umidade modelo HL-69. Este sensor possui uma

saída digital e uma analógica, além das entradas para alimentação: 12 V e terra. Sua saída digital fica em estado alto quando o solo está seco e em estado baixo quando úmido, no entanto este limite entre seco e úmido pode ser ajustado por meio do potenciômetro existente no sensor. A saída analógica informa uma faixa maior de informações relativas ao solo, mas deve ser utilizada em conjunto com o conversor Analógico Digital (A/D) do Arduino.

2.3 Estágio 3: Sistemas Embarcados

Os sistemas embarcados do projeto têm a função de receber instruções da camada de nuvem e executar ações. Assim, o projeto possui um microcontrolador e um microprocessador, que se comunicam via porta USB. O microcontrolador, baseado em Arduino Mega executa o *firmware*, conjunto de instruções operacionais que são programadas diretamente no *hardware* de equipamentos eletrônicos, e executa comandos de leitura de sensores e controle de atuadores. Como exemplo, temos o acionamento da válvula de água para irrigação ou o monitoramento da umidade do solo. É o *firmware* do dispositivo que informa diretamente a esses periféricos quando e como operar. Assim, outras partes do sistema podem solicitar acesso aos periféricos enviando comandos para o *firmware*.

Contudo, um Arduino não possui memória e capacidade de processamento para tarefas que não são de *hardware*. Assim, o FarmBot contém um computador de placa única, a Raspberry PI 3, que fornece maior memória e capacidade de processamento. O sistema operacional incorporado na Raspberry PI 3 é capaz de gerenciar tarefas como: (i) comunicação de mensagens, como relatórios ou dados do sensor, para usuários finais apresentados no hub central; (ii) aplicação de recursos de segurança no nível do dispositivo, como parada dos motores de forma instantânea; (iii) manutenção e execução de um horário de trabalho; e (iv) chamadas de procedimento remoto recebidas de usuários e pacotes de *software* fora do dispositivo, como OpenFarm API (Burnworth, n.d.).

2.4 Estágio 4: Conectividade e Comunicação

Para a devida execução do FarmBot é necessário que os componentes presentes no sistema se comuniquem, e a partir da interpretação dos dados, realizem as tarefas. A comunicação entre a camada de hub central e a camada de dispositivos eletrônicos, ocorre na camada de nuvem. Essa camada é composta por API REST (Ong et al., 2015), intermediário de mensagem e *PostgreSQL*, conforme apresentado na Fig. 4.

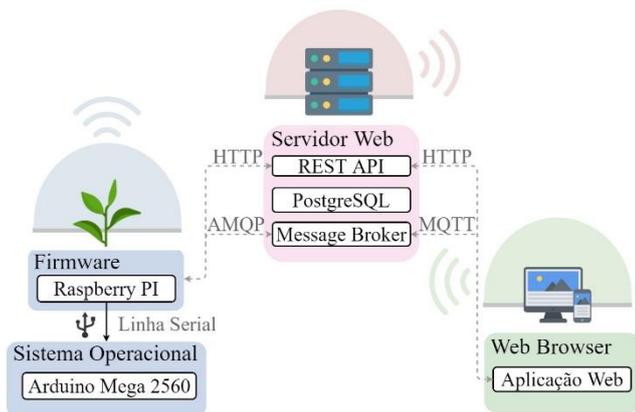


Fig. 4 Especificação da estrutura da camada de nuvem, elaborado pelos autores.

Na Fig. 4, as aplicações e banco de dados são apresentados. O *PostgreSQL* é um sistema de banco de dados relacional de código aberto. O *PostgreSQL* armazena os usuários e suas respectivas autenticações e eventos.

A API REST (*Application Programming Interface on Representational State Transfer*) é um servidor da Web HTTP. A API REST lida com várias responsabilidades, como o armazenamento, validação e segurança de dados, responsável por evitar a perda de dados entre as atualizações, armazenando-os em um banco de dados centralizado, permitindo que os usuários editem informações quando o dispositivo está offline, valida dados e controla o acesso aos dados por meio de mecanismos de autenticação e autorização. A API REST também é responsável pelo envio de notificações por e-mail e pelo *upload* e manipulação de imagens capturadas pela câmera interna do FarmBot. De um modo geral, a API REST não controla o FarmBot. O controle do dispositivo é tratado pelo *Message Broker*, *CeleryScripte FarmBot JS*.

O intermediário de mensagens é um subcomponente da aplicação web que fornece a redundância da comunicação entre o hub central e os dispositivos eletrônicos. É uma instância especialmente configurada do *RabbitMQ* que serve as seguintes funções: (i) transmite notificações entre usuários e dispositivos; (ii) envia mensagens em segundo plano; (iii) impede usos não autorizados. Além disso, o intermediário de mensagens aceita mensagens em vários canais, como AMQP, MQTT e *WebSockets*.

2.5 Estágio 5: Interface do Usuário

A interface da aplicação web permite que o usuário controle e monitore as etapas da plantação, através dos sensores e atuadores. Assim, é possível escolher as configurações de horta desejadas, desde o tipo de plantação até seu posicionamento no canteiro, através de um mapa virtual. Além disso, o *software* permite o agendamento da irrigação e da medição da umidade do solo. O FarmBot possui uma câmera que permite acompanhar o crescimento da horta e identificar a existência de ervas daninhas. Essa camada de interface expõe os dados medidos e processados pelos

sensores e pela câmera. A Fig. 5 ilustra algumas funções existentes na aplicação web que pode ser acessada de forma remota por *smartphones*, *tablets*, e *desktops*.

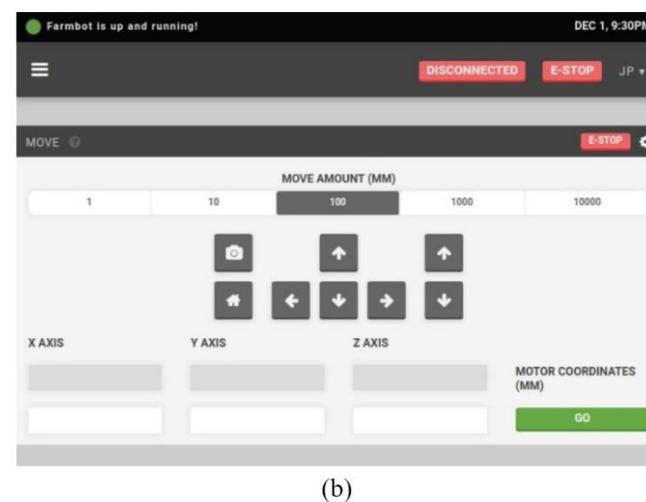
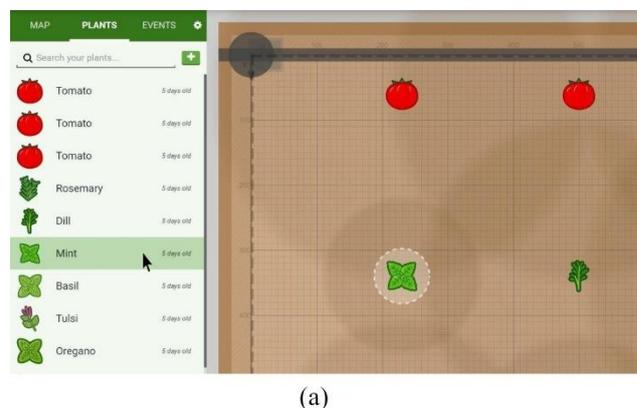


Fig. 5 Interfaces da Aplicação Web: (a) designer da horta; (b) controle de dispositivos, adaptado (FarmBot., 2020).

A Fig. 5a apresenta a interface de configuração do layout da horta, em que o usuário escolhe o vegetal ou fruta e o posiciona na área de plantio. Desta forma, as coordenadas de cada plantação são interpretadas pelo sistema operacional do FarmBot. A Fig. 5b refere-se a tela de controle de dispositivos, possibilitando o controle manual dos motores e o monitoramento dos sensores e câmera. Além destas interfaces, existe a tela de agendamento da irrigação, leitura dos sensores, plantação e tratamento de erva daninha e tela de configurações do sistema.

A aplicação web contém três componentes principais para a comunicação com a camada de nuvem, sendo eles: (i) intermediário de mensagens em tempo real, para mensagens entre o banco de dados, o usuário e o dispositivo; (ii) uma interface gráfica do usuário apresentada na Fig. 5; (iii) uma API REST para armazenamento e acesso a dados.

3. CUSTOS DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Ao longo do projeto, algumas modificações frente ao projeto FarmBot original foram feitas, considerando os materiais

encontrados em mercado nacional e a proposta de baixo custo da horta inteligente. A Tabela 1 reúne as informações de custo de investimento referentes às compras dos materiais utilizados para construção da estrutura. No caso das peças provenientes de impressão 3D, foi feita uma estimativa de consumo de filamento com base nas informações fornecidas pelo *software* Simplify 3D que prepara os arquivos das peças para a impressão.

Tabela 1. Custo por parte do projeto.

Parte do Projeto	Custo	Representação do Custo
Perfil de Alumínio	R\$ 787,50	17,19%
Parafusos e Conectores	R\$ 528,70	11,54%
Dispositivos Eletrônicos	R\$ 1.807,76	39,45%
Peças impressas em 3D	R\$ 250,43	5,47%
Estrutura dos Trilhos	R\$ 750,22	16,37%
Cabos e periféricos	R\$ 457,63	9,99%
Total	R\$ 4.582,24	100,00%

O custo de investimento com a parte de dispositivos eletrônicos da horta inteligente possui o maior percentual dentre o projeto. Essa parte engloba os sistemas embarcados, atuadores, sensores, câmera para monitoramento e fonte chaveada para operação do sistema em corrente contínua de 12 V. Além dos custos apresentados na Tabela 1, é previsto custos com a estrutura do canteiro e sistema de fornecimento de água. Esses custos variam conforme a localização que o usuário deseja instalar o sistema da horta inteligente. Contudo, por se tratar de um sistema autônomo, os custos totais com o projeto, se resume no custo de investimento inicial, e no custo de manutenção do sistema, que seria apenas as sementes que serão plantadas, a água utilizada para irrigação e adubos, quando necessário.

A fim de comparar o projeto proposto com o sistema FarmBot original, disponível no mercado internacional através de encomendas, a Fig. 6 reúne os preços de duas versões diferentes (Genesis e Genesis XL), desenvolvida pelos criadores do FarmBot, que se diferenciam, pelas dimensões do canteiro. Ou seja, a versão Genesis apresenta dimensões de 1,5 m x 3,0 m, ao passo que a versão Genesis XL possui 3,0 m x 6,0 m.

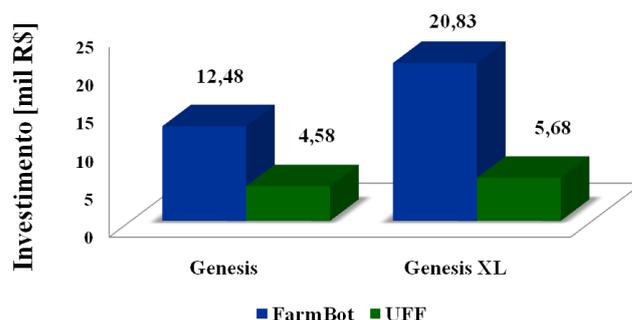


Fig. 6 Comparação entre os custos de cada modelo, elaborado pelos autores.

Para a conversão monetária, é considerada a cotação do dólar comercial no valor de R\$ 4,17. Esse valor expressa a média da cotação no período de 2 anos (mai/2018-jun/2020), conforme dado histórico disponibilizado na (Investing, 2020). Analisando a Fig. 6, o projeto proposto atinge uma redução de aproximadamente 63 % para o modelo Genesis, e de 73 % para o Genesis XL. Essa grande diferença de custos é explicada pelo alto valor do câmbio, pela importação do sistema e pelas adaptações feitas para a redução de custos considerada neste trabalho, tais como a impressão em 3D das peças estruturais. As peças impressas representam apenas 5,47 % do valor total do projeto da horta inteligente. Em contrapartida, essas peças no modelo FarmBot Genesis equivalem a 10,38 %, sendo feitas parte em aço inox e parte em impressão 3D.

4. SOLUÇÕES PROPOSTAS

Ao se optar pela alternativa das peças impressas, foram encontrados alguns desafios que dificultaram o desenvolvimento do projeto, como: (i) problemas no processo de impressão das peças; (ii) adaptações feitas no UTM (*Universal Tool Mount*) para diminuir o custo do projeto e possibilitar a confecção com produtos encontrados no mercado nacional; (iii) utilização do sensor de umidade comercializados em ambiente nacional; e (iv) adaptações nos perfis estruturais para redistribuir o esforço mecânico, uma vez que são consideradas apenas peças impressas em 3D. As adaptações foram necessárias para se manter o baixo custo da horta inteligente, priorizando o bom funcionamento do sistema.

Os problemas mais comuns relacionados a impressão das peças são dois. O primeiro é o desalinhamento das peças, que ocorre devido a um deslocamento considerável entre as camadas X e Y das peças, devido a problemas na calibração e precisão dos eixos da impressora 3D, ou a dilatação do material. O outro problema muito encontrado são as “saliências” ou mais comumente chamadas de “*overhang*”. Esse efeito ocorre quando a inclinação da peça supera 45° em relação ao plano da mesa de impressão, com isso as novas camadas perdem o apoio, tornando as peças desniveladas.

Essas duas dificuldades citadas ocorrem quando é necessário imprimir peças muito altas, em que a camada adicionada não resfria e como o apoio abaixo está angulado, o polímero que se encontra em transição de fase não tem o tempo necessário para tornar-se totalmente sólido e acaba se deformando. Uma alternativa para solucionar esses problemas de impressão é melhorar a refrigeração das peças, adicionando um *cooler* próximo a saída do filamento, diminuir a velocidade de impressão ou reduzir a temperatura de extrusão (saída do filamento através do orifício de impressão).

5. CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de uma alternativa de baixo custo para a criação de uma horta inteligente que pode ser construída nos grandes centros urbanos. Essa horta é uma solução compacta e de fácil operação, que possibilita o gerenciamento e controle da plantação de forma remota através do uso de dispositivos baseados em Raspberry e Arduino, promovendo um *framework* de IoT.

A alternativa encontrada para garantir a qualidade, baixo custo e o bom funcionamento do projeto ocorre através da utilização de peças plásticas, produzidas em impressoras 3D. Essa proposta se mostrou um fator determinante para a redução do custo do projeto. Comparando o custo total desse projeto de horta inteligente com o projeto original FarmBot, é visto uma redução entre 63 % e 73 % no custo de investimento inicial. Cabe ressaltar que o FarmBot não se baseia totalmente em peças plásticas.

Por fim, destaca-se que o presente trabalho se encontra em fase de desenvolvimento, a fim de encontrar alternativas para aplicação desse sistema em um servidor local, visando independência da rede *Wi-Fi* para que o usuário possa interagir com a interface gráfica da horta inteligente. Assim, além das alternativas encontradas do uso de impressão 3D e implementação de dispositivos eletrônicos e estruturais encontrados no mercado brasileiro, espera-se propor novas alternativas para o protocolo de comunicação com a rede e adaptação do projeto para inclusão de mais sensores, tais como iluminação, para medir a intensidade luminosa da radiação solar sobre a horta, e temperatura ambiente, para monitorar as condições climáticas sobre a plantação. Além dessas propostas, espera-se estudar e implementar ao projeto a automação de uma composteira para enriquecimento do solo da área de plantio da horta inteligente, contribuindo diretamente para reciclagem de resíduos orgânico.

AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer à FAPERJ e ao laboratório NITEE (Núcleo de Inovação e Tecnologia em Engenharia Elétrica) pelo apoio financeiro e de infraestrutura concedidos.

REFERÊNCIAS

- Burnworth, G., n.d. The OpenFarm API (ALPHA VERSION) [WWW Document]. OpenFarm API ALPHA VERSION. URL [https://github.com/openfarmcc/OpenFarm/wiki/The-OpenFarm-API-\(ALPHA-VERSION\)](https://github.com/openfarmcc/OpenFarm/wiki/The-OpenFarm-API-(ALPHA-VERSION)) (accessed 4.7.20).
- Carrion, G., Huerta, M., Barzallo, B., 2018. Internet of Things (IoT) Applied to an Urban Garden, in: 2018 IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud). Presented at the 2018 IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), IEEE, Barcelona, Spain, pp. 155–161.
- Choque M, C.J., Linares O, P.E., Alcorta S, N.F., Alva A, J.L., Prado G., S.R., 2019. IoT Automated Orchard in a Domestic Environment, in: 2019 IEEE 1st Sustainable Cities Latin America Conference (SCLA). Presented at the 2019 IEEE 1st Sustainable Cities Latin America Conference (SCLA), IEEE, Arequipa, Peru, pp. 1–6.
- Choque Moscoso, C.J., Fiestas Sorogastua, E.M., Prado Gardini, R.S., 2018. Efficient Implementation of a Cartesian Farmbot Robot for Agricultural Applications in the Region La Libertad-Peru, in: 2018 IEEE ANDESCON. Presented at the 2018 IEEE ANDESCON, IEEE, Santiago de Cali, pp. 1–6.
- Cleveland, D.A., Phares, N., Nightingale, K.D., Weatherby, R.L., Radis, W., Ballard, J., Campagna, M., Kurtz, D., Livingston, K., Riechers, G., Wilkins, K., 2017. The potential for urban household vegetable gardens to reduce greenhouse gas emissions. *Landsc. Urban Plan.* 157, 365–374.
- DIT, FEM, CULS Prague, Stočes, M., Vaněk, J., Masner, J., Pavlík, J., 2016. Internet of Things (IoT) in Agriculture - Selected Aspects. *Agris -Line Pap. Econ. Inform.* VIII, 83–88.
- Egerer, M., Ordóñez, C., Lin, B.B., Kendal, D., 2019. Multicultural gardeners and park users benefit from and attach diverse values to urban nature spaces. *Urban For. Urban Green.* 46, 126445.
- Erick, M., Fiestas, S., Sixto, R., Prado, G., 2018. Modeling and Simulation of Kinematics and Trajectory Planning of a Farmbot Cartesian Robot, in: 2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON). Presented at the 2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), IEEE, Lima, pp. 1–4.
- FarmBot, 2020. FarmBot: Open-Source CNC Farming [WWW Document]. URL <https://www.farm.bot> (accessed 4.24.20).
- Franklin, G.F., Powell, J.D., Emami-Naeini, A., 2015. Feedback control of dynamic systems, Seventh edition. ed. Pearson, Boston.
- Geraldi, R.T., Reinehr, S., Malucelli, A., 2020. Software Product Line Applied to the Internet of Things: A

- Systematic Literature Review. *Inf. Softw. Technol.* 106293.
<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106293>
- Hemalatha, P., Dhanalakshmi, K., Matilda, S., Bala Anand, M., 2018. Farmbot-a Smart Agriculture Assistor Using Internet of Things. *Int. J. Pure Appl. Math.* 119.
- Investing, 2020. USD/BRL - Dólar Americano Real Brasileiro [WWW Document]. URL <https://br.investing.com/currencies/usd-brl-historical-data> (accessed 6.9.20).
- Kumar, V.S., Gogul, I., Raj, M.D., Pragadesh, S.K., Sebastin, J.S., 2016. Smart Autonomous Gardening Rover with Plant Recognition Using Neural Networks. *Procedia Comput. Sci.* 93, 975–981.
- Lin, B.B., Egerer, M.H., 2020. Global social and environmental change drives the management and delivery of ecosystem services from urban gardens: A case study from Central Coast, California. *Glob. Environ. Change* 60, 102006.
- Lu, Y., 2017. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *J. Ind. Inf. Integr.* 6, 1–10.
- Ong, S.P., Cholia, S., Jain, A., Brafman, M., Gunter, D., Ceder, G., Persson, K.A., 2015. The Materials Application Programming Interface (API): A simple, flexible and efficient API for materials data based on REpresentational State Transfer (REST) principles. *Comput. Mater. Sci.* 97, 209–215.
- Tangmongkhonsuk, J., Meena, A., Sasithong, P., Wijayasakra, S., Phanomchoeng, G., Phongphanphane, C., Vanichchanunt, P., Wuttisittikulij, L., 2018. Development of a Software Program for Automatic Cartesian Farming Robot. Presented at the 2nd International Conference on Advanced Information Technologies (ICAIT), Yangon, Myanmar.