

SyncGarden: Sistema Colaborativo de Monitoramento de Plantas Baseado em Internet das Coisas

Fabiano B. N. Filho¹, Nicole V. L. da Costa¹, Gabriella Marreiros Staudt¹, Leno R. Martins¹

¹Centro de Ciências Naturais e Tecnologias - Universidade do Estado do Pará (UEPA)
Castanhal - PA - Brasil

{fabiano.filho, nicole.costa, gabriella.m.staudt}@aluno.uepa.br
leno.martins@uepa.br

Abstract. Gardening and horticulture have expanded in urban contexts in recent years, but are still limited to traditional techniques. In these environments, the Internet of Things (IoT) presents itself as an alternative for monitoring the health of plants under the care of an individual or a community, enabling the consultation of physical parameters in real time. This work presents the implementation of a web-based system integrated with IoT that allows synchronous collaboration among different users with different roles in monitoring and controlling plants within the same cultivation network, enabling the visualization of the overall health of the plantation through dashboards and the configuration of specific alerts.

Resumo. A jardinagem e a horticultura têm se expandido no contexto urbano nos últimos anos, porém ainda limitadas a técnicas tradicionais. Nesses ambientes, a Internet das Coisas (IoT) apresenta-se como uma alternativa para o monitoramento da saúde de plantas sob cuidado de um indivíduo ou de uma comunidade, possibilitando a consulta de parâmetros físicos em tempo real. Este trabalho apresenta a implementação de um sistema web integrado com IoT que permite a colaboração síncrona de diferentes usuários de diferentes papéis no monitoramento e controle de plantas de uma mesma rede de cultivo, possibilitando a visualização da saúde geral da plantação por meio de dashboards e configuração de alertas específicos.

1. Introdução

A partir da década de 2020, principalmente após o advento da pandemia do Covid-19, a jardinagem doméstica e o cultivo de hortas se popularizou entre a população global como uma estratégia na manutenção do bem-estar mental, físico e até mesmo da segurança alimentar e da coesão comunitária. Essa prática favoreceu o pensamento sustentável e a criação de espaços verdes em áreas urbanas, levando as pessoas a buscar aprimoramento técnico no cuidado com as plantas [Trac et al. 2025].

Nesse sentido, há uma tendência crescente em direção do uso de tecnologias avançadas na gestão ambiental de jardins e estufas, como o uso de dispositivos de Internet das Coisas (IoT) para monitorar em tempo real diversos fatores ambientais, como temperatura, umidade, luz e gás carbônico, substituindo o monitoramento manual e maximizando a eficiência e sustentabilidade do cultivo [Bicamumakuba et al. 2025]. A IoT é aplicada tanto em ambientes domésticos quanto na agricultura em larga escala [Gonçalves et al. 2023, Wade et al. 2025, Srisawat et al. 2025, Absar et al. 2023, Dinn et al. 2025, Awal et al. 2025, Staudt et al. 2025, Shabab et al. 2025].

Este artigo apresenta a implementação de um sistema de monitoramento da saúde de plantas que integra sensores de solo a um módulo óptico de refletância RGB para geração de um índice espectral relativo sensível à clorofila. A proposta visa promover a sustentabilidade ao ampliar o controle no cuidado de plantas domésticas. Além de oferecer suporte prático ao manejo, o sistema favorece a coleta distribuída e o compartilhamento de dados, contribuindo para a construção de conhecimento coletivo sobre práticas de manejo vegetal em contextos domésticos e comunitários, como hortas urbanas, projetos educacionais e iniciativas de agricultura urbana.

2. Trabalhos Correlatos

Esta seção analisa trabalhos sobre sistemas IoT para monitoramento da saúde de plantas, em agricultura e cultivo doméstico, com o objetivo de contextualizar o estado da arte, identificar limitações e destacar a contribuição deste estudo.

2.1. IoT na Agricultura

O uso de equipamentos de IoT específicos para agricultura é um campo que vem sendo bastante explorado em plantações nos últimos anos, o que deu abertura ao desenvolvimento de vários estudos concentrados no aumento, qualidade e eficiência de produção [Wade et al. 2025, Srisawat et al. 2025, Shabab et al. 2025].

Wade et al. (2025) propuseram um sistema de baixo custo para monitoramento de umidade foliar em milho e soja, usando diversos sensores. O estudo ajudou a identificar vulnerabilidades e otimizar o uso de pesticidas, mas não ofereceu uma interface intuitiva para o agricultor, limitando a aplicabilidade prática para usuários sem conhecimento técnico.

Srisawat et al. (2025) aplicaram IoT para otimizar crescimento, sobrevivência e perfis fitoquímicos da *Hypericum perforatum L.* em condições agrícolas tropicais controladas. O sistema se destaca pela arquitetura organizada e mecanismos de controle, mas carece de avaliação de viabilidade econômica, lacuna que o presente trabalho busca suprir.

As tecnologias agrícolas inteligentes combinam IoT e Inteligência Artificial, como em Shabab et al. (2025), que propõem um sistema para otimizar rendimento e sustentabilidade do arroz. O sistema analisa oito parâmetros do solo em tempo real e fornece recomendações de fertilização, irrigação e diagnóstico de doenças via Plantix, aplicação guiada por IA. Apesar da eficácia, apresenta limitações em custo, usabilidade e aplicação restrita a uma cultura específica.

Dessa forma, o sistema proposto se destaca em relação aos trabalhos citados devido ao seu baixo custo comprovado e, apesar de ser voltado para ambientes domésticos, abre margem para a escalabilidade. Além disso, a aplicação foi desenvolvida para ser adaptável a diversos tipos de plantas, cuja interface foi projetada com foco em usabilidade, incluindo notificações configuráveis e visualização simplificada de dados, aspecto raramente explorado nos trabalhos agrícolas avaliados.

2.2. Monitoramento de Estufas e Plantas Domésticas

A IoT também está sendo largamente utilizada no monitoramento de plantas domésticas e em estufas e, diferentemente dos estudos voltados para a agricultura e produção em grande escala, a interação do usuário com as análises é ponto chave no seu desenvolvimento [Gonçalves et al. 2023, Absar et al. 2023, Dinn et al. 2025, Awal et al. 2025, Staudt et al. 2025]. Isso ocorre porque o usuário doméstico demanda sistemas intuitivos, visuais e de fácil configuração, diferente do agricultor profissional, que prioriza produtividade e rendimento.

Nesses estudos, observa-se a presença de um sistema de coleta de dados e de avisos, como em Gonçalves et al. (2023), Awal et al. (2025) e Staudt et al. (2025), cujos dados coletados por sensores são transmitidos via Wi-Fi, permitindo configurações de alerta e conexão com bombas de irrigação, no intuito de permitir o controle automático. O projeto open-source SmartPlant ainda utiliza conceitos da Internet Social das Coisas (SIoT) para criar um ambiente de interação entre plantas de uma mesma rede, permitindo a identificação de fatores ideais para cada espécie [Gonçalves et al. 2021]. Apesar de seguir uma linha de estudo semelhante, o trabalho de Staudt et al. (2025) se diferencia dos outros ao integrar a Visão Computacional ao sistema para classificar a saúde visual da folha, embora monitore apenas três parâmetros físicos.

Absar et al. (2023) usaram a plataforma Low-Code Blynk para exibir dados em tempo real e controlar aspersores via Android. Dinn et al. (2025) coleta parâmetros de saúde da planta, processa dados em Raspberry Pi e apresenta dashboards via Grafana, enquanto Gonçalves et al. (2023) utiliza ThingsBoard para análises gráficas. O uso de plataformas Low-Code ou dashboards pré-prontos limita a flexibilidade, impedindo personalização avançada e controle por perfis de usuário.

O presente trabalho diferencia-se do desenvolvido por Staudt et al. (2025) por expandir a quantidade de parâmetros físicos das plantas a serem analisados, adicionando um módulo óptico de refletância foliar (TCS230) e Índice Relativo de Clorofila (RCI). Embora também utilize notificações configuráveis pelo usuário, como em estudos anteriores [Absar et al. 2023, Awal et al. 2025, Staudt et al. 2025, Gonçalves et al. 2023], a contribuição vai além da experiência do usuário: a interface permite atribuição de papéis e níveis de acesso, restringindo dados e análises conforme o perfil. Com múltiplos sensores e controle de acesso, o sistema avança na profundidade dos dados, segurança e personalização, aspectos ausentes nos estudos anteriores.

3. Materiais e Métodos

O SyncGarden é um sistema que integra diversos elementos da IoT para coletar, fornecer e exibir dados que colaborem para o monitoramento personalizado da saúde de plantas e suas condições ideais de crescimento. A arquitetura do sistema é composta por dois módulos distintos, um responsável pelo hardware e outro pelo software.

O módulo de hardware utiliza uma ampla gama de sensores com um microcontrolador ESP32, encaminhando os dados para a plataforma online. O módulo de software permite análise, visualização e monitoramento de parâmetros de saúde de cada planta.

A disposição do hardware consiste em uma montagem básica de sensores, circuitos e atuadores integrados ao sistema (Figura 1), uma vez que se trata de um protótipo de teste para demonstrar as funcionalidades do sistema de monitoramento remoto por aplicação web.

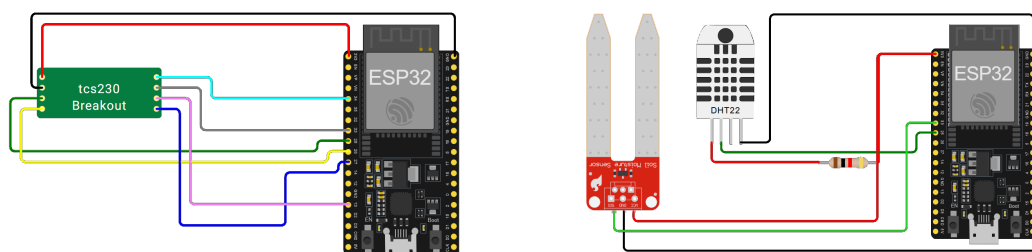


Figura 1. Esquemas de ligação dos sensores. (a) ESP32 + TCS230; (b) ESP32 + sensores de umidade do solo e umidade/temperatura do ar.

3.1. Componentes de Hardware

3.1.1. Microcontroladores

A ESP32 é uma placa microcontroladora de código-aberto de baixo consumo, com processador dual-core e suporte a Wi-Fi e Bluetooth para aplicações IoT. Integra diversos periféricos, como I2C (Circuito Inter-Integrado), UART (Transmissor e Receptor Assíncrono Universal), ADC (Conversor Analógico-Digital) e DAC (Conversor Digital-Analógico). No presente trabalho, a ESP32 foi empregada no processamento dos dados coletados pelos sensores DHT22 e HD-38, além do módulo óptico baseado no TCS230.

3.1.2. Sensores

Os sensores, em conjunto com o microcontrolador, desempenharam um papel fundamental na coleta de dados ambientais variados, utilizando Protoboards e cabos jumper para estabelecer conexão entre componentes. A Tabela 1 descreve as principais características dos sensores utilizados no módulo de hardware.

Tabela 1. Descrição dos sensores

Sensor	Função	Faixa de medição	Precisão da medição	Consumo de energia
DHT22	Mede a temperatura e umidade relativa do ar	Temp.: -40 a 80°C; Umi.: 0-100%	Temp: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$; Umi.: 2-5%	Máximo de 2,5mA
HD-38	Mede a umidade do solo	Sensibilidade ajustada por potenciômetro	-	< 20mA
TCS230	Mede a intensidade da luz (cor RGB)	Frequência de saída programável	-	Máximo de 5-10mA

3.1.3 Módulo óptico de refletância foliar (TCS230) e RCI

Para complementar o monitoramento ambiental do SyncGarden, foi desenvolvido um módulo óptico de leitura por refletância foliar utilizando o sensor de cores TCS230. Diferentemente de instrumentos comerciais que fornecem estimativas calibradas de variáveis fisiológicas, o módulo proposto neste trabalho tem como objetivo gerar uma métrica relativa baseada nas respostas espectrais nas bandas R, G e B, permitindo comparações dentro do mesmo protocolo de medição.

O sensor TCS230 converte a intensidade luminosa incidente em frequência de saída (Hz), configurada por filtros internos (R, G e B). O dispositivo é composto por um arranjo de fotodiodos com filtros espectrais vermelho, verde e azul, acoplados a um conversor corrente-frequência, cuja saída é um sinal digital proporcional à intensidade luminosa detectada [Texas Advanced Optoelectronic Solutions 2008]. Para as leituras, o sensor foi integrado a um microcontrolador, operado com iluminação LED controlada e suporte físico em configuração tipo “sanduíche”, padronizando a geometria de coleta e minimizando variações de ângulo, pressão e luz ambiente (Figura 2).

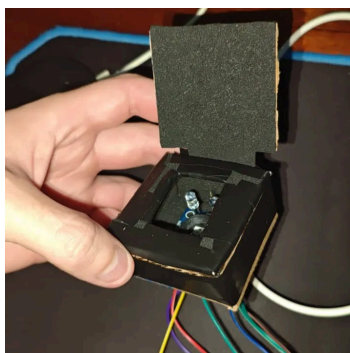


Figura 2. Suporte estilo “sanduíche” feito de EVA e papelão

As medições seguem um protocolo padronizado em três etapas, sempre na mesma ordem: Escuro (DARK), com LED desligado, para registrar o nível de fundo; Branco (WHITE), com LED ligado e referência branca, para normalizar a refletância; e Folha (LEAF), com LED ligado e a folha no suporte. A etapa Folha é repetida em cinco ciclos, com múltiplas leituras por cor em cada ciclo, para aumentar a robustez dos resultados.

O processamento transforma as frequências medidas em uma estimativa de refletância normalizada (*Ref*) por canal de cor, calculada a partir das médias de cada etapa. Seja *Lm* a média na folha, *Dm* a média no escuro e *Wm* a média no branco:

$$Ref = \frac{Lm - Dm}{Wm - Dm}$$

Essa forma de normalização, baseada na subtração do sinal de fundo (dark) e divisão pela referência branca, é amplamente utilizada em sistemas de imageamento espectral para obtenção de refletância relativa calibrada [Lussier 2024, PlantCV 2020].

Os valores de *Ref* são limitados ao intervalo [0, 1] para evitar saturação e instabilidade numérica, procedimento comum em processos de calibração de refletância

em sistemas espectrais [PlantCV 2020]. Em seguida, é calculada uma grandeza equivalente de absorvência relativa por transformação logarítmica:

$$Aeq = -\log_{10}(Ref)$$

A relação entre refletância e absorvência é utilizada em análises espectrais para realçar bandas de absorção e permitir comparações relativas entre amostras [Brown 2014].

Neste trabalho, o RCI é definido como uma métrica baseada nas componentes *Aeq* das bandas vermelha (R), verde (G) e azul (B). É considerado relativo por explorar diferenças de absorvência/refletância associadas à pigmentação, sendo adequado para comparações internas sob protocolo controlado. O RCI reduz a dimensionalidade das leituras RGB a um único valor, permitindo comparações entre amostras desde que mantidos o mesmo protocolo, geometria, iluminação e normalização. Combinações lineares de R, G e B são amplamente usadas na literatura para estimar atributos fisiológicos, como SPAD e vigor vegetativo [Liu et al. 2021]. Assim, o RCI não é uma medida absoluta, mas um indicador relativo consistente para acompanhamento e comparação em condições controladas.

$$RCI = Aeq(R) + Aeq(B) - Aeq(G)$$

Para controle de qualidade, implementou-se a detecção de outliers nos cinco ciclos de folha. Calcula-se o RCI de cada ciclo e a mediana; ciclos com diferença absoluta superior a 8% da mediana são considerados outliers, geralmente devido a variações de pressão ou posicionamento. Se houver mais de dois outliers, recomenda-se repetir a medição; caso contrário, o RCI final é a média dos ciclos válidos, aumentando a consistência do índice.

Dessa forma, o módulo óptico baseado no TCS230 mostrou-se adequado para produzir uma métrica relativa de resposta foliar por refletância quando aplicado com padronização de iluminação, geometria e protocolo de medição. Em condições de senescência avançada e elevada translucidez, alterações estruturais da folha podem influenciar a resposta óptica, devendo-se interpretar o índice com cautela.

3.2. Desenvolvimento da aplicação web

Por meio da plataforma Arduino, os microcontroladores são capazes de obter dados dos sensores e processá-los, ou seja, convertê-los em strings no formato JSON. Os microcontroladores mantêm conectividade WI-FI e os dados são enviados ao Servidor Node.js via protocolo HTTP, garantindo processamento em tempo real dos dados. Nesse sentido, foi desenvolvida uma aplicação web para servir de interface para a visualização das medições.

3.2.1. Tecnologias da aplicação web

O desenvolvimento da aplicação web segue o paradigma de Arquitetura de Camadas com servidor em Node.js. Para o Back-End, foi empregado o framework NestJS, para um desenvolvimento estruturado, modular e injetável, sendo o grande responsável pela

construção da API RESTful que controla as requisições HTTP, tanto dos microcontroladores (coleta de dados dos sensores), quanto do Front-End. Paralelamente, a interface do usuário foi construída utilizando o framework Next.js, garantindo maior desempenho no carregamento da interface. A biblioteca flexível Chart.js foi implementada para consumir dados da API do NestJS e transformá-los em visualizações síncronas (gráficos) para um monitoramento mais otimizado.

3.2.2. Ecossistema de usuários

A arquitetura multi-inquilinos (multi-tenant) consiste no compartilhamento de uma mesma infraestrutura ou instância da aplicação para múltiplos clientes, embora os dados de cada um sejam isolados. A implementação dessa arquitetura garante segurança, privacidade e facilita a manutenção e escalabilidade das instâncias. Como parte da sua estrutura de autorização e autenticação, existe o sistema de Controle de Acesso Baseado em Funções (RBAC), que gerencia de modo hierárquico os controles de acesso a nível de locatário e usuário, atuando junto a protocolos de segurança, como o JWT [Pushpan 2024]. No SyncGarden, essa abordagem possibilita que administradores controlem o acesso de usuários comuns, definindo, por exemplo, permissões para cadastrar plantas ou configurar alertas.

4. Resultados e Discussão

4.1 Avaliação do RCI com o TCS230

Para garantir a confiabilidade dos dados na plataforma web, avaliou-se o desempenho do TCS230 na coleta do RCI. As medições por refletância foram feitas à mão livre e com suporte físico, seguindo o protocolo Escuro–Branco–Folha em ciclos repetidos.

Sem suporte, as leituras apresentaram alta variabilidade devido a pressão, ângulo e luz externa (Figura 3a). Com o suporte, a geometria de medição foi padronizada, isolando a folha da iluminação e reduzindo significativamente as variações entre os ciclos (Figura 3b).

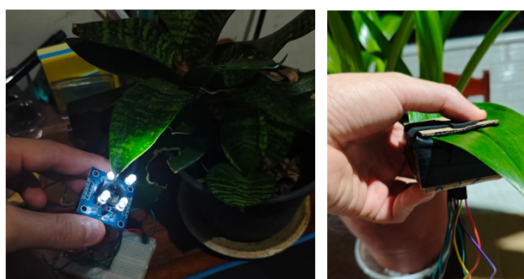


Figura 3. Abordagens de medição de refletância foliar com o sensor TCS230. (a) Leitura à mão livre sem suporte físico; (b) Leitura padronizada com o uso do suporte tipo "sanduíche"

A Tabela 2 evidencia que folhas verdes saudáveis apresentaram valores médios de RCI superiores aos observados em folhas amareladas. A diferença aproximada de 18% em relação ao grupo verde saudável confirma a sensibilidade do índice em capturar variações associadas à pigmentação foliar sob protocolo padronizado de medição.

Tabela 2. Valores médios do RCI obtidos com suporte físico

Tipo de folha	RCI médio	Desvio padrão
Verde saudável	0,7599	0,0215
Amarela	0,6234	0,0996

Em condições padronizadas, o sensor apresentou sensibilidade suficiente para distinguir folhas verdes saudáveis de folhas amareladas em estágios iniciais de senescência. Em folhas muito degradadas, alterações na translucidez e espessura podem afetar a leitura (Figura 4). De modo geral, o TCS230, associado a um suporte adequado, é um indicador óptico relativo viável e de baixo custo, capaz de fornecer dados consistentes via IoT sobre a condição fisiológica das plantas.



Figura 4. Folha em estado avançado de senescência.

4.2 Interface web SynGarden

A interface suporta monitoramento remoto e colaborativo de plantas, integrando visualização de dados IoT, gestão de entidades (plantas, sensores e alertas) e administração de usuários (Figuras 5a e 5b). A aplicação segue o modelo multi-tenant, atendendo múltiplos ambientes de cultivo com isolamento de dados e controle de acesso por perfil, de tal forma que cada ecossistema é um tenant isolado.

A aprovação de entrada em um ecossistema ocorre mediante o fornecimento de um código de autorização por parte do usuário, que se mantém em status pendente até a aprovação do administrador do ecossistema correspondente ao código, fazendo com que o usuário passe a pertencer a esse tenant e a ter acesso aos seus dados conforme permissões. Assim, o login bloqueia quaisquer usuários que não estejam em status ativo, mitigando a quebra de privacidade e à segurança de um ecossistema alheio.

O cadastro do usuário (Figura 5b) é realizado da seguinte forma: caso seja o primeiro administrador do sistema, ele deverá marcar a opção correspondente e iniciar um novo ambiente; caso contrário, deverá informar o código de convite do grupo ao qual pertence, previamente enviado pelo respectivo administrador.

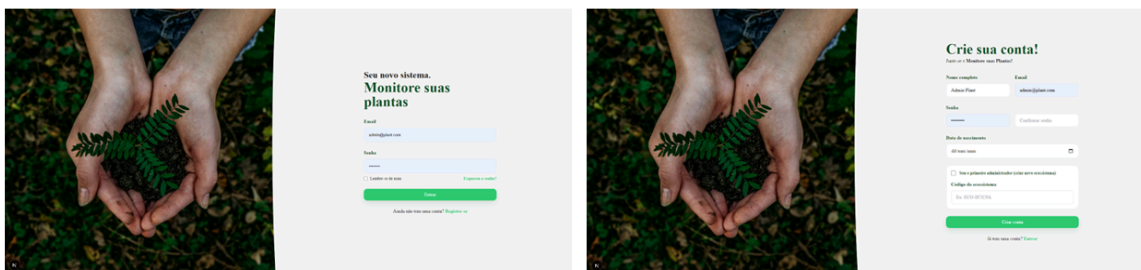


Figura 5. Interfaces do sistema: (a) Tela de login do usuário; (b) Tela de cadastro do usuário

O dashboard, mostrado na figura 6, centraliza as informações de monitoramento, exibindo os parâmetros coletados (ex.: umidade do solo, temperatura, umidade do ar e RCI) em gráficos e indicadores, permitindo identificar rapidamente variações e situações fora do esperado.

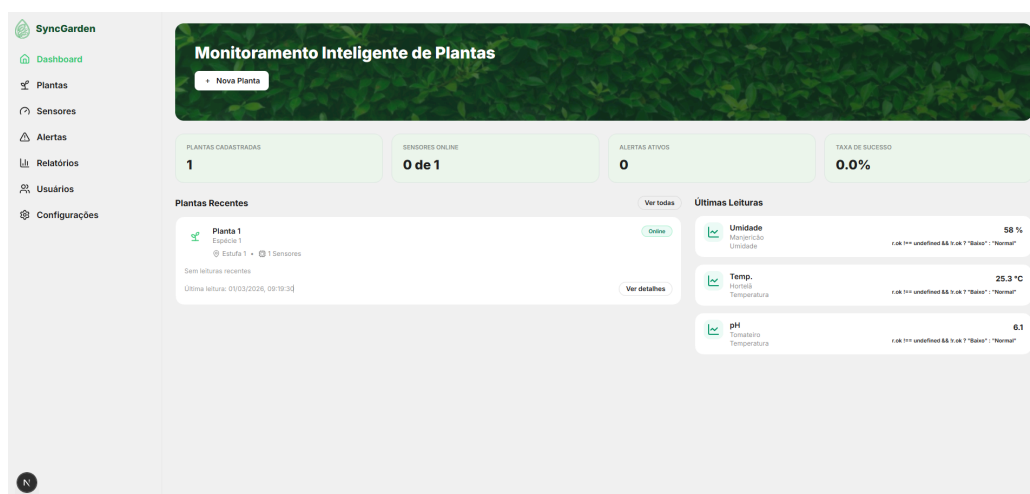
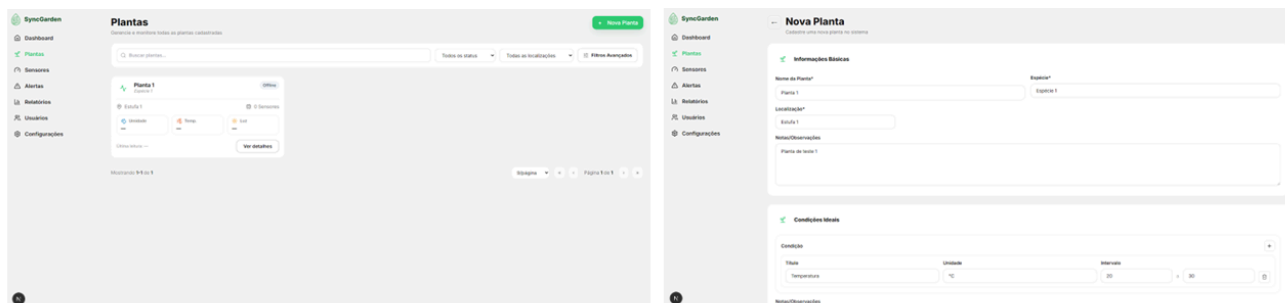


Figura 6. Dashboard: visão geral com indicadores e gráficos principais

A tela de plantas permite cadastrar (Figura 7a) e organizar (Figura 7b) cada planta, vinculando-a ao contexto de cultivo e às configurações de monitoramento. O detalhamento (Figura 7c) exibe o histórico de medições, os sensores associados e os alertas configurados para cada planta.



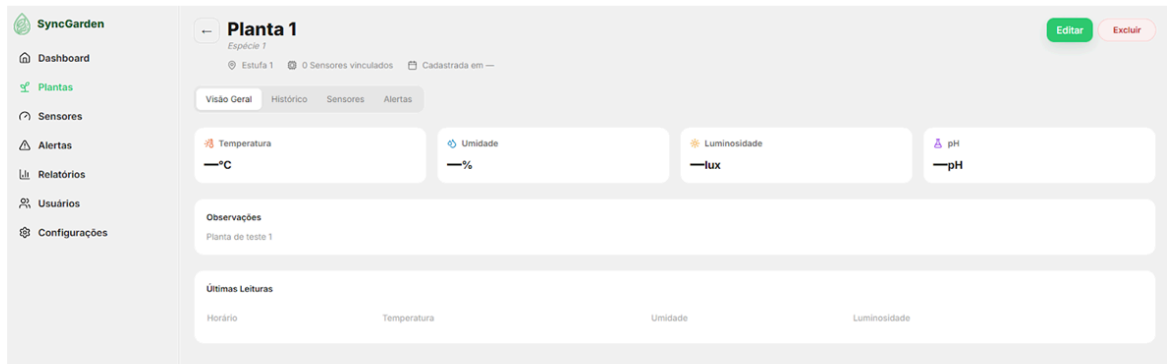


Figura 7. Gerenciamento de plantas: (a) listagem de plantas cadastradas no ambiente; (b) formulário de criação/edição da planta; (c) detalhamento das informações da planta cadastrada.

No módulo de sensores (Figura 8), o usuário acompanha as leituras capturadas pelos dispositivos IoT, visualizando os valores por sensor e/ou por planta, com foco em acompanhamento detalhado e consulta das medições.

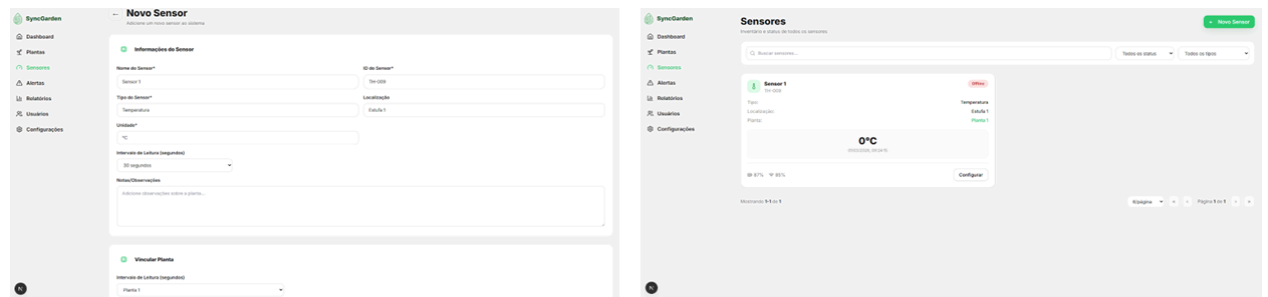


Figura 8. Monitoramento de sensores: (a) painel/lista de sensores vinculados; (b) visualização das leituras em tempo real/histórico do sensor.

A Figura 9a mostra os alertas gerados quando os parâmetros ultrapassam os limites definidos na tela de configuração (Figura 9b). Os alertas podem ser visualizados e gerenciados na interface (Figura 9c), enquanto a visualização detalhada do sensor (Figura 9d) fornece informações adicionais sobre cada evento.

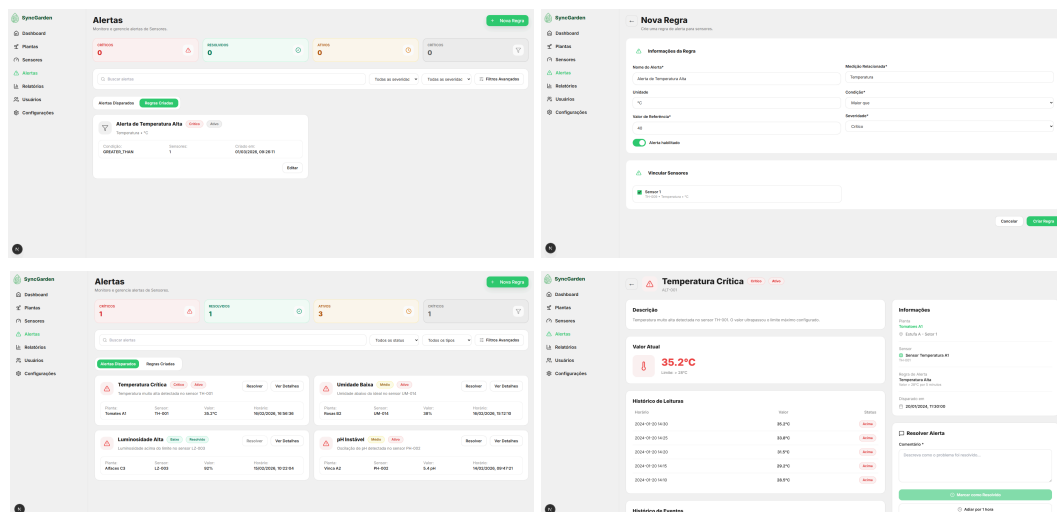


Figura 9. Alertas e notificações: (a) listagem de alertas configurados; (b) criação/edição de alerta com limites por parâmetro; (c) listagem de alertas disparados; (d) detalhamento de um alerta

O painel de configurações (Figura 10a) permite gerenciar informações do usuário, idioma e notificações. Ele também oferece o botão “Novo perfil”, que abre um modal para criar tipos de perfil (Figura 10b). Esses perfis definem, de forma centralizada, as permissões e níveis de acesso dos usuários à plataforma.

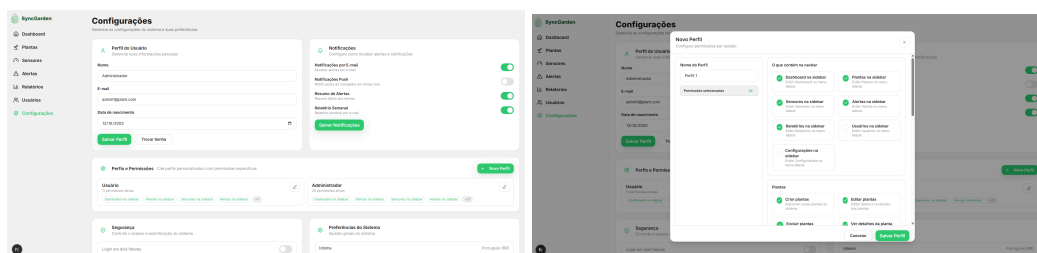


Figura 10. Painel de Configurações: (a) configurações gerais; (b) criação de perfis.

O módulo de usuários consolida o aspecto colaborativo do SyncGarden, permitindo adicionar ou remover membros e controlar permissões por perfil via modelo RBAC, restringindo ações como cadastro de plantas, configuração de alertas e acesso a módulos administrativos.

Na tela de gerenciamento, ao cadastrar um novo usuário com código de convite (Figura 11a), o administrador recebe uma notificação de solicitação de aceite. O ícone de “guard” abre um modal (Figura 11b) para atribuição do perfil de acesso, conforme os papéis definidos no sistema (Figura 10b).

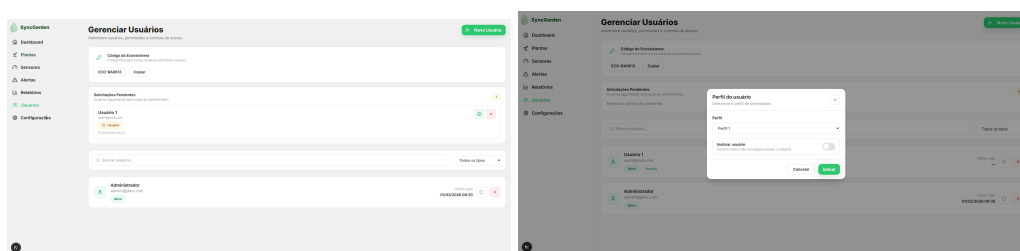


Figura 11. Administração de usuários e permissões: (a) gestão de usuários do ambiente; (b) definição de papéis e permissões (RBAC)

5. Conclusão

O desenvolvimento de um sistema que integra IoT e programação web centrada no usuário representa um avanço na modernização de hábitos sustentáveis, permitindo monitoramento ambiental em tempo real e troca de informações entre usuários remotamente. O estudo demonstra a viabilidade do SyncGarden com três sensores de baixo custo, incluindo o TCS230, adaptado para gerar o RCI a partir de bandas RGB como alternativa acessível a um clorofilômetro. Testes mostraram que o suporte físico padroniza as medições e garante métricas consistentes, com limitações em folhas muito senescentes, cuja translucidez pode afetar o índice.

Os resultados mostram uma solução aplicável em ambientes domésticos, escolares, acadêmicos e comunitários, permitindo colaboração remota no monitoramento de jardins e hortas. Entre as limitações estão a ausência de controle histórico, como relatórios e trilhas de auditoria, e a configuração de sensores restrita a usuários com conhecimento de programação. Limitações acerca da escalabilidade do servidor também representam um problema, pois o volume crescente de instâncias de entidades (sensores, plantas, leituras), bem como suas consultas agregadas, e a gestão de alertas e regras em tempo real pode sobrecarregar o banco de dados, elevando o custo computacional.

Como perspectivas futuras, pretende-se preencher essas lacunas visando ampliar o caráter colaborativo e a personalização do sistema, assim como expandir a acessibilidade para usuários leigos, garantindo a manutenção da escalabilidade e da performance sob condições de uso intensivo. Além disso, uma possível evolução do sistema é a integração com algoritmos de Aprendizado Profundo para identificar padrões de estresse vegetal e auxiliar na detecção e previsão de doenças.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pelo suporte financeiro concedido e apoio à pesquisa, e à Universidade do Estado do Pará (UEPA) pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa, realizada no âmbito do Edital n.º 44/2025 – UEPA, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

Referências

- Absar M. H. et al. (2023). Novel IoT-Based Plant Monitoring System. *Engineering Proceedings*, 32(1) :12.
- Awal, MD. A. et al. (2025). A Smart Iot-based hydroponics system for small-scale household in Bangladesh. *Smart Agricultural Technology*, 12: 101163.
- Bicamumakuba, E. et al (2025). Multi-Sensor Monitoring, Intelligent Control, and Data Processing for Smart Greenhouse Environment Management. *Sensors*, 25(19): 6134.
- Brown, A. (2014). Spectral curve fitting for automatic hyperspectral data analysis. arXiv preprint arXiv:1401.5562.
- Dinn, C. et al. (2025). Developing a new Iot network topology for effective Greenhouse Monitoring and Control. *Procedia Computer Science*, 265: 285-292.
- Gonçalves, C. O. et al (2023). Smart Plant: uma proposta de desenvolvimento saudável de plantas domésticas por meio de Internet Social das Coisas. In *XVIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos(SBSC)*. SBC.
- Liu, Y. et al. (2021). A robust vegetation index based on different UAV RGB images to estimate SPAD values of naked barley leaves. *Remote Sensing*, 13(4): 686.
- Lussier, A. (2024). Understanding Raw Data, Radiance Data, and Reflectance Data in Hyperspectral Imaging. Resonon Inc.

- PlantCV (2020). Calibrate HSI – Hyperspectral Reflectance Calibration Documentation. Donald Danforth Plant Science Center. Disponível em: <https://plantcv.readthedocs.io>
- Pushpan, S. (2024). Multi-Tenant Architecture: A Comprehensive Framework for Building Scalable SaaS Applications. *International Journal of Scientific Research in Computer Science Engineering and Information Technology*, 10(6): 1117-1126.
- Shabab, H. et al. (2025). IoT-Driven Smart Agricultural Technology for Real-Time Soil and Crop Optimization. *Smart Agricultural Technology*, 10: 100847.
- Staudt, G. M. et al. (2025). Plant Connect: An Approach to Sustainable Monitoring of Domestic Plants Using the Internet of Things. In *2025 Latin Conference on IoT(LCIoT)*. IEEE.
- Srisawat, T. et al. (2025). An Iot-based system for growth optimization of St. John's Wort in controlled tropical agriculture with phytochemical and cytotoxicity screening. *Smart Agricultural Technology*, 12: 101489.
- Trac, L. V. T. et al. (2025) Cumulative impact assessments highlight the linkages among intentions, behaviors, and benefits of home gardening in the post COVID-19 pandemic era. *Wellbeing, Space and Society*, 9: 100283.
- Texas Advanced Optoelectronic Solutions (2008). TCS230 – Programmable Color Light-to-Frequency Converter Datasheet. Plano, TX: TAOS Inc.
- Wade, C. R. et al. (2025) Monitoring leaf wetness dynamics in corn and soybean fields using an IoT(Internet of Things)-based monitoring system. *Smart Agricultural Technology*, 11: 100919.