

Sistema de Rega Inteligente

1st Tomás Marcos

Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia
Universidade da Madeira
Funchal, Portugal
2037017@student.uma.pt

2nd Nelson Vieira

Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia
Universidade da Madeira
Funchal, Portugal
2080511@student.uma.pt

Abstract—A água é um recurso precioso, considerado um dos bens essenciais para a vida. No entanto, cada vez mais, ouve-se que é um recurso escasso e que rapidamente está a se esgotar. A água é utilizada para muitas atividades, sejam elas industriais, comerciais ou de lazer. Existem muitas iniciativas que pretendem reduzir o consumo e o desperdício de água. Pretendemos explorar um sistema de rega inteligente que utilize sensores de forma a reduzir a quantidade de água que é utilizada.

Index Terms—IoT, computação ubíqua, rega inteligente.

I. INTRODUÇÃO

A Sustentabilidade global não será alcançada sem garantir a disponibilidade de água preciosa para todos os consumidores. Apesar de ser um dos principais objetivos da agenda da UN2030 [1] para o desenvolvimento global sustentável, a atual escassez de água está a crescer rapidamente e afetando um número crescente de consumidores de água residencial, comercial, industrial e agrícola em todo o mundo [2]. Espera-se que a procura global da água suba 55%, enquanto atualmente, cerca de 25% das grandes cidades estão a passar por alguns níveis de stress hídrico [3].

As mudanças climáticas, secas graves, crescimento populacional, aumento da procura e má administração durante as últimas décadas enfatizaram ainda mais os recursos escassos da água doce em todo o mundo e resultaram numa grave escassez de água para cerca de 4 bilhões de pessoas, pelo menos um mês anualmente [4] [5] [6]. [7]

Um dos setores de atividade humana que tem maior consumo dos recursos hídricos é a agricultura, "aproximadamente 100 vezes mais do que o uso pessoal é consumida pela alimentação e agricultura e quase 70% das águas fluviais e subterrâneas são utilizadas na irrigação". [8] Apenas 17% das terras agrícolas, de todo o mundo são irrigadas. Apesar de pôr todo o mundo, se verificar um aumento de terrenos irrigados, a área irrigada per capita tem estado a diminuir desde 1990 devido ao rápido crescimento global. [9]

Existem, atualmente, várias tecnologias de irrigação, sendo as mais comuns a irrigação por inundação e irrigação por aspersão. Outros métodos mais focados, como a irrigação gota-a-gota têm maior eficiência hídrica. Esta técnica usa uma quantidade inferior de água, entre 30% a 50%, quando comparada com uma técnica de irrigação superficial. [9]

Várias iniciativas foram tomadas para ajudar a minimizar o desperdício de água neste setor, no entanto, não aparentam

ter muito sucesso, ou não são apelativas, devido aos elevados custos associados. Os sensores comerciais para sistemas destinados à agricultura e à sua irrigação são muito caros, impossibilitando aos pequenos agricultores a implementação deste tipo de sistema nas suas explorações. No entanto, os fabricantes oferecem atualmente sensores de baixo custo que podem ser ligados a aparelhos também de baixo custo para implementar sistemas de baixo custo para a gestão da irrigação e monitorização agrícola. Além disso, devido ao interesse em sensores de baixo custo para monitorizar a agricultura e a água, novos sensores de baixo custo estão a ser propostos em vários estudos. [10]

Portugal Continental, no mês de abril de 2022, encontrava-se numa situação de seca, nos quais 81,9% do território encontrava-se em seca moderada e 17,9% do território em seca severa, segundo o jornal Expresso [11].

Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a quantidade de precipitação até o dia 15 de abril de 2022, teve um valor médio inferior ao valor normal quando comparado com anos anteriores, correspondente a 38%. Devido à redução da precipitação, a percentagem de água no solo diminuiu em quase todo o país com valores inferiores a 20%, com alguns locais a atingirem o ponto de emurchecimento. O boletim também contém um gráfico, demonstrado na figura 1 que mostra a percentagem de território do país sem situações de seca. [12]

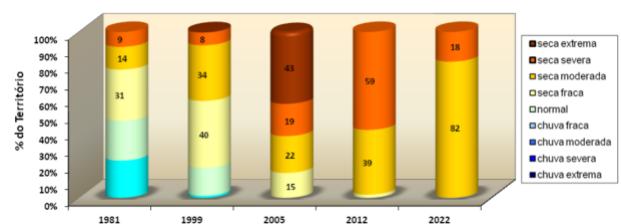


Fig. 1. Percentagem do território de Portugal Continental por classe do índice PDSI em situações de seca anteriores em abril (2022 até dia 15)

Por estes motivos é importante gerir o consumo de água no nosso dia a dia, portanto, o que propomos é um sistema de rega inteligente que faz a medição da humidade do solo e rega as plantas apenas durante o tempo necessário poupando o gasto desnecessário da água de rega.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Segundo um estudo realizado por García et al. [10], existem 178 artigos relacionados com "IoT irrigation, IoT irrigation system, and smart irrigation", escritos em inglês, no período de entre os anos de 2014 e 2019, inclusive, dos quais 106 artigos estão relacionados com a utilização de sensores para monitorizar o estado do solo. Destes 106 artigos estudados, todos os artigos abordam a humidade do solo, 9 discutem a temperatura do solo, 4 exploram o ph do solo e 3 mencionam os nutrientes presentes no solo. Para determinar a seca causada por anomalias nas águas superficiais, foi utilizado o Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). Estes índices e a informação recolhida a partir de sensores que monitorizam o ambiente, o solo e a água podem ser utilizados para determinar o estado atual da água e a possibilidade de cobrir todas as necessidades de água doce. Os países com maiores fundos já implementam sistemas de gestão e reutilização da água com o objetivo de otimizar a utilização da água e reduzir o impacto ambiental causado pela utilização de grandes quantidades de água. No entanto, alguns países podem considerar que estas soluções são dispendiosas. Os sensores comerciais para sistemas destinados à agricultura e à sua irrigação são muito caros, impossibilitando aos pequenos agricultores a implementação deste tipo de sistema nas suas explorações. No entanto, os fabricantes oferecem atualmente sensores de baixo custo que podem ser ligados a nós para implementar sistemas de baixo custo para a gestão da irrigação e monitorização agrícola. Além disso, devido ao interesse em sensores de baixo custo para monitorizar a agricultura e a água, estão a ser propostos novos sensores de baixo custo em investigações tais como um sensor de monitorização do stress hídrico foliar [13], um sensor de humidade do solo de vários níveis composto por anéis de cobre colocados ao longo de um tubo de PVC [14], um sensor de monitorização da salinidade da água feito com bobinas de cobre [15] ou um sensor de turbidez da água feito com emissores e receptores de chumbo colorido e infravermelho [16].

Nas atividades agrícolas que utilizam água, também conhecidas como agricultura irrigada, há diferentes maneiras de distribuir a água. As diferentes opções apresentam eficiência diferente e, em alguns casos, uma forma específica deve ser utilizada para uma cultura específica. As formas específicas de irrigação têm uma grande variedade, mas podemos dividirlas nas seguintes categorias: Podemos considerar a forma de distribuição da água:

- irrigação por inundação;
- irrigação por aspersão;
- irrigação gota a gota;
- irrigação por nebulização.

Quanto à existência de sistemas de deteção, podemos ter:

- irrigação sem qualquer consideração, quando a quantidade de água não é calculada ou estimada;
- irrigação programada, quando a água é fornecida de acordo com as necessidades estimadas num período do ano;

- irrigação ad hoc, quando a quantidade de água é calculada com base nas medições dos sensores.

A grande maioria dos trabalhos incluídos propõe a utilização de bombas e válvulas para distribuir a água em conjunto com sensores para medir os parâmetros ambientais, a fim de calcular as necessidades de água. Dos 89 artigos avaliados, 83 incluem informações claras sobre o sistema de irrigação proposto, os outros seis apenas mencionam que incluem atuadores para irrigação. Estes 83 incluem diferentes níveis de detalhe, existem 49 documentos que apenas indicam que existem motores/bombas no seu sistema (40 documentos) ou válvulas (nove documentos) sem mais detalhes. Dos artigos que oferecem mais detalhes, 19 incluem aspersores (o sistema mais utilizado) [17]–[35], oito utilizam irrigação por gotejamento [8], [36]–[42], dois propõem a utilização de pulverizadores [43], e os restantes utilizam um sistema de irrigação muito específico (robts [44], pivot, pistola de chuva [45] ou pode ser aplicada a múltiplos sistemas [46]). Em conjunto com o sistema de irrigação principal, três artigos propõem o uso de um sistema de nebulização [30], [32], [40] e dois artigos propõem o uso de fertirrigação nos seus sistemas [31], [41]. Dos artigos que mencionam o tipo de sensor utilizado, o sensor mais popular é o e YL69 (SparkFun Electronics, Niwot, CO, USA). Este sensor tem um baixo custo e foi criado para operar especificamente com o Arduino. [10]

Muitos sistemas de rega inteligente têm por base sensores de humidade do solo, como é o caso dos sistemas que analisamos de seguida.

A. Sistema proposto por Abbas et al.

No estudo realizado por Abbas et al. [47], os autores propõem um sistema de irrigação inteligente no qual utilizaram uma rede de sensores sem fios para detetar a humidade no solo. Um dos focos do estudo proposto foi a medição do tempo de resposta e a capacidade do sistema identificar a capacidade de retenção de água do tipo de solo no qual os sensores estavam localizados.

Como o solo argiloso pode manter a água por longos períodos. Por outro lado, o solo arenoso não pode manter a água enquanto o solo argiloso for argiloso. Por conseguinte, a água não pode ser mantida, uma vez que a medição da humidade do solo no solo argiloso ou no solo de vaso é feita de 2 em 2 horas, o mesmo processo tem de ser realizado em tempo mais curto no caso de vasos ou campos de terra arenosa. Mas a resposta da humidade do solo argiloso à água é mais lenta do que a resposta da humidade do solo arenoso para a água. Assim, o tempo de espera de deteção após a irrigação do solo arenoso espera -se que seja menor que o correspondente tempo para o solo argiloso. Obviamente, os parâmetros de tempo devem ser alterado com base não só no tipo de solo mas também no tipo de planta porque os requisitos de irrigação para as plantas diferem de cada outros. Também as estações desempenham um grande papel no processo de irrigação. No verão, as plantas precisam de ser regadas com mais frequência do que no inverno. Tendo em mente a saúde dos pacotes será muito importante no caso das plantas levedadas em especial,

elas crescem a uma distância relativamente alta do solo. Nesses casos, os nós poderão ser levantados em paus altos. Há casos em que o alojamento ou cobertura para os nós é necessária para evitar os seus danos; por exemplo chuva forte, queda de granizo, cobertura de neve, e raios ardentes do sol em longos dias de verão. [47]

B. Sistema proposto por Goap et al.

A humidade do solo é um parâmetro crítico para o desenvolvimento de um sistema de irrigação inteligente. A humidade do solo é afetada por uma série de variáveis ambientais, por exemplo, temperatura do ar, humidade do ar, UV, temperatura do solo, etc. Com o avanço das tecnologias, a precisão das previsões meteorológicas melhorou significativamente e os dados meteorológicos previstos podem ser utilizados para prever as alterações da humidade do solo. Este artigo propõe uma arquitetura de irrigação inteligente baseada em IoT juntamente com uma abordagem baseada na aprendizagem de máquinas híbridas para prever a humidade do solo. O algoritmo proposto utiliza os dados dos sensores do passado recente e os dados meteorológicos previstos para a previsão da humidade do solo dos próximos dias. O valor previsto da humidade do solo é melhor em termos da sua precisão e taxa de erro. Além disso, a abordagem de previsão é integrada num protótipo de sistema autónomo. O protótipo do sistema é rentável, uma vez que se baseia nas tecnologias de padrão aberto. O modo automático torna-o um sistema inteligente e pode ser ainda mais personalizado para aplicação de cenários específicos. [48]

C. Sistema proposto por Premkumar e Sigappi

O modelo de aprendizagem proposto por Premkumar e Sigappi [49] para irrigação é implementado num protótipo de sistema IoT que tem quatro componentes: (i) Camada de nó de borda - Esta camada é constituída por sensores, atuador, e dois microcontroladores. Nesta camada, o nó de borda adquire os dados dos sensores do ambiente e controla o atuador para acionar as bombas de água para iniciar a irrigação. (ii) Camada de servidor de borda - Esta camada consiste em Raspberry Pi que atua como servidor de borda e capaz de processamento multitarefa. Aqui, o servidor de borda controla os nós de borda para enviar sinal e receber dados a intervalos regulares de tempo. Está também ligado ao cloud server para receber o modelo de aprendizagem de máquinas desenvolvido e treinado para ser implantado e tomar decisões de irrigação para controlar os nós de borda. (iii) camada de serviço de borda - Esta camada é implantada no servidor de borda e é responsável pelo controlo de todo o sistema através de um painel de controlo web desenvolvido. O painel de bordo tem dados de alimentação ao vivo, controlo dos nós de borda, e acesso aos serviços de nuvem. Esta camada de serviço tem também o controlo de acesso do modelo de aprendizagem da máquina proposto. (iv) Camada de servidor de nuvem - Esta camada composta por serviços de nuvem e armazenamento de nuvens onde o seu papel é treinar o modelo de aprendizagem da máquina e armazenar os dados na base de dados. Envia o modelo proposto treinado para o servidor de borda para

a tomada de decisões relativas à programação da irrigação. O proposto sistema de irrigação inteligente baseado em IoT inclui cinco componentes principais: módulo implantado no campo, interface baseada na Web, entrada de tempo Web API, humidade do solo mecanismo de previsão, e modelo de comunicação de borda.

III. MÉTODOS E METODOLOGIAS

O trabalho descrito neste artigo pretende responder a algumas questões que foram levantadas após alguma investigação sobre soluções já existentes no que diz respeito a sistemas de rega. O sistema proposto permite poupar água? Qual a quantidade de água que é possível poupar? Qual é o custo associado à integração de sensores num sistema de rega convencional? Em comparação com um sistema de rega convencional, qual a poupança que um sistema de rega inteligente proporciona?

A. O nosso sistema

O sistema de rega inteligente que propomos faz uso do Arduino MKR 1000 WiFi, de um sensor de humidade do solo, de uma breadboard, de vários LEDs, uma resistência de 200Ω e um servo motor. O servo motor que estamos a usar neste sistema serve apenas para efeitos de demonstração, pois este sistema teria que ter uma bomba de água para fazer a rega das plantas de forma automática, da forma como está neste momento, este sistema de rega requer a intervenção humana para o seu funcionamento, mas esta não era a intenção da sua criação. Decidimos usar este modelo do Arduino pela ligação à rede por Wi-fi que possui, o que nos permite analisar o sistema sem termos de estar no local da instalação, o que podemos fazer através do Arduino Cloud, que nos envia os resultados do sensor que estamos a usar. Caso o utilizador queira ver o estado da humidade do solo, pode perceber pelos LEDs que usamos no sistema, estes LEDs mostram um feedback visual do estado atual do solo, decidimos representar este feedback com 5 LEDs de várias cores que vão desde o verde até ao vermelho, portanto se o LED verde estiver acesso quer dizer que o solo está suficientemente humido, se o LED laranja estiver acesso quer dizer que solo requer um pouco de água e se o LED vermelho estiver acesso quer dizer que o solo está seco, por isso tem que ser regado.

O dispositivo Arduino, como mostra a figura 2, que usamos é o modelo MKR 1000 WiFi, pois é um modelo com capacidade wifi, o que facilita na transmissão dos dados para o utilizador que poderá vê-los no seu smartphone, esta interação com o smartphone não foi criada, mas é uma possibilidade, bem como a utilização de um Raspberry Pi para fazer o tratamento da informação recebida pelo Arduino.

O sensor de humidade, ilustrado pela figura 2, é um sensor normal para esta função, que tem por base valores entre 0 e 1023, serão usados valores incrementais entre os valores mínimo e máximo para fazer uma distinção do grau de escassez do solo, a partir destes valores base associamos uma percentagem que irá corresponder à humidade do solo, a utilização de percentagem é mais user-friendly e consequentemente o sistema dará um feedback mais útil para o utilizador.

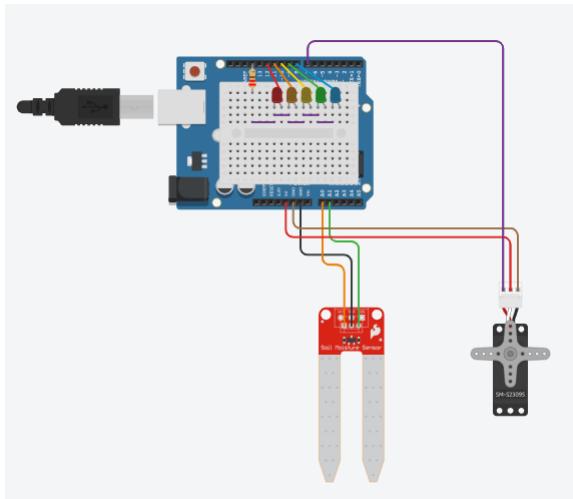


Fig. 2. Esquema do Circuito

Também poderia ser usado um Raspberry Pi para guardar dados do sensor.

Testou-se o sistema com dois sensores de humidade, mas não se observou variações de valores significativas, sendo que a distinção dos sensores considerou-se não ser relevante.

1) Preço do sistema: Na tabela I podemos verificar o custo do sistema, isto inclui apenas os custos associados aos sensores e equipamento estritamente necessário à criação deste sistema, portanto custo associados a produtos ou serviços externos não são considerados para esta análise, como, por exemplo, o custo de água gasta, pois estes valores variam ao longo do tempo e por região e seria difícil fazer uma estimativa para tal.

Item	Preço
Arduino MKR 1000 WiFi	30,70 €
Sensor de humidade	5,40 €
Servo motor	5,10 €
LEDs	13 € (Pack)
Resistência	6 € (Pack de 100)
Fios e outros cabos e Breadboard	7,00
Total	67,20 €

TABLE I
CUSTO DO MATERIAL UTILIZADO

Como podemos verificar o custo total deste sistema, ou de um sistema de rega inteligente similar, não é muito elevado. Apesar de ser difícil estimar um valor concreto para o custo de água gasta podemos assumir que seria um custo muito mais baixo do que é no momento para um utilizador que não use um sistema de rega inteligente, pois este tipo de sistema está desenhado para poupar água. Comparando com alguns sistemas de rega inteligente que existem no mercado [50] [51], o nosso sistema é mais barato e atendendo ao facto de que os preços descritos na tabela I incluem packs de produtos e a utilização do servo motor neste sistema é para efeitos de simulação de uma bomba de água, o preço real do sistema seria ainda mais barato, o preço mais baixo poderia ser por volta

de 40 €, o que tornaria este sistema atraente para potenciais consumidores interessados na sustentabilidade e na redução da sua pegada ambiental.

B. Testes ao sistema

Realizamos vários testes, tanto num ambiente controlado como em ambiente real, desde a construção do circuito em simulação até ao momento de entrega final. Começamos por fazer testes simulados, para isso usamos a ferramenta Tinkercad [52] onde criamos o circuito e o código associado ao circuito que implementa a lógica que o sistema deve seguir, neste ambiente de simulação é possível testar o sistema de forma a verificar se o código criado faz realmente aquilo que é pretendido.

Num dos testes do primeiro protótipo do sistema, no qual apenas se tinha o microcontrolador Arduino Uno e o sensor de humidade, foi possível observar que o valor máximo obtido pelo sensor era de 1023, quando o recipiente com terra continha demasiada água. Este teste, por ainda não se ter implementado todo o circuito considerou-se ser um teste preliminar.

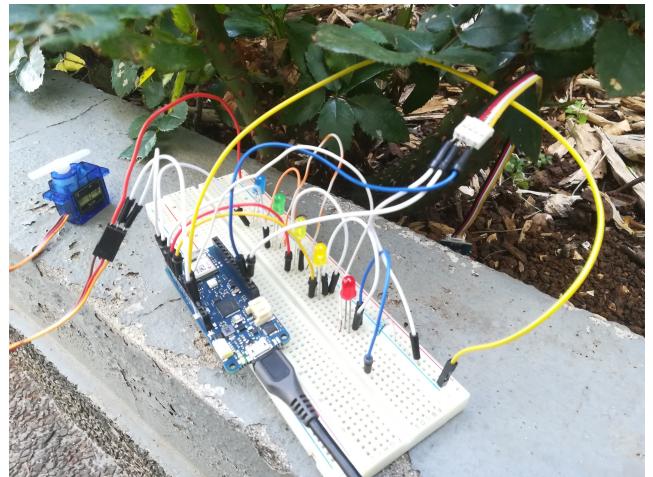


Fig. 3. Teste realizado

Posteriormente, realizou-se vários testes no jardim de um dos discentes, como mostra a figura 3, no qual os resultados obtidos num dos testes, podem ser verificados pelo gráfico da figura 4.

Como se pode observar pelo gráfico, os valores iniciais estão comprimidos entre os 280 e os 300, havendo uma descida abrupta logo após se ter iniciado o teste. Isto deve-se ao facto de se ter começado o processo de irrigação. O solo por estar seco começou a absorver água e o sensor perdeu alguma estabilidade. Após, cerca de 1 minuto, verificou-se uma subida constante no valor da humidade do solo até se atingir um valor máximo de 400. Após se atingir este pico, os valores estabilizaram-se, havendo uma pequena variação nos valores da humidade. Deixou-se de regar a planta e observou-se que os valores da humidade, começaram a diminuir.

Os resultados obtidos revelaram ser muito abaixo dos valores esperados. Sendo que nos testes preliminares foi possível

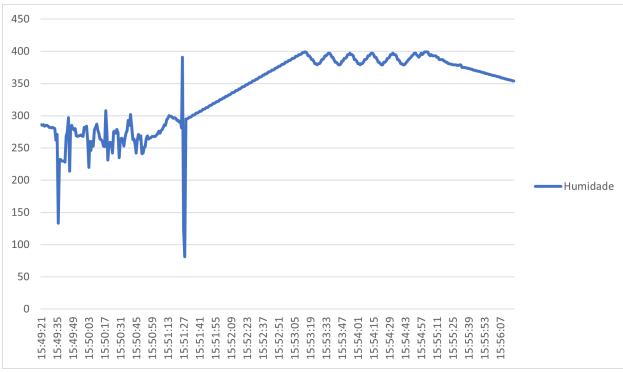


Fig. 4. Gráfico dos resultados do teste realizado

obter valores muito mais elevados, tal que foi possível testar o limite máximo do sensor. Seria expectável que os resultados obtidos através dos testes estivessem mais próximo dos valores verificados durante as simulações. Um valor expectável para o solo húmido seria um valor entre os 600 e os 700, sendo um valor superior a 750 seria considerado como solo demasiado húmido.

Dos testes realizados, verificou-se em dois casos diferentes que para um tipo de solo o valor máximo obtido foi de cerca de 300 e para o caso representado pelo gráfico da figura 4 o valor máximo obtido foi de 400. Isto deve-se ao facto de nos dois casos, apesar de se estar a realizar testes com o mesmo tipo de plantas, cada uma das plantas estava plantada em tipos de solo diferentes. A primeira estava plantada num vaso de pequenas dimensões em que o solo é um composto de turfa loira de Sphagnum [53], como mostra a figura 5, enquanto que o teste descrito neste artigo, a planta encontra-se plantada em terra.



Fig. 5. Plantas no solo de composto Sphagnum

Como mencionado no artigo de Abbas et al. [47], diferentes solos têm diferentes características sendo uma delas a capacidade de retenção de água. Isto poderá ser um dos fatores,



Fig. 6. Roseira plantada num pequeno jardim

não considerados pelos discentes, que terá tido influência nos resultados obtidos.

C. Problemas Encontrados

Durante a realização do projeto descrito neste artigo, surgiram vários problemas, tanto com o hardware assim como com o software.

A grande maioria dos problemas encontrados com o hardware estavam relacionados com o mau funcionamento dos dispositivos eletrónicos e com más ligações entre os componentes. A solução para estes problemas foi a substituição dos mesmo componentes, especialmente alguns cabos.

Os problemas de software estavam relacionados com o editor de texto e o programa do Arduino. Alguns dos problemas foram resolvidos com a instalação de dependências e bibliotecas para a placa Arduino MKR 1010 wifi. O problema que atrasou mais o desenvolvimento do projeto é um erro do software Arduino nos quais não era possível detetar a placa quando estava ligada a uma das entradas USB do computador. Para se encontrar a resolução consultou-se os vários fóruns, em especial, o fórum da comunidade Arduino. Uma das possíveis soluções era a reinstalação do software bem como todas as dependências e bibliotecas necessárias. Outra solução é colocar a placa Arduino em modo bootloader. [54]

IV. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

Um dos maiores problemas que vamos enfrentar num futuro próximo é a escassez de água potável, e sendo a água um bem essencial para a sobrevivência humana, existe uma preocupação em criar sistemas que possibilitem uma melhor gestão da água. Por isto mesmo é que propomos este sistema de rega de água inteligente. Apesar de não ser um sistema muito robusto e que pela sua natureza funciona melhor em pequena escala, este poderia ser uma ponte para a criação de um sistema mais robusto que funciona-se bem tanto áreas

pequenas como jardins ou estufas, como também em áreas maiores como campos agrícolas.

Para trabalho futuro poderia ser integrado um Raspberry Pi neste sistema para uma melhor gestão de informação. Um dos pontos fracos que o sistema proposto tem é não ter em conta a previsão do tempo o que pode tornar este sistema menos eficiente. Esta previsão de tempo poderia ser integrada no sistema através de um API que envia os dados de previsão em tempo real e juntamente com os dados do sensor de humidade o sistema tomaria a decisão se regava as plantas ou não.

Este sistema, tal como os sistemas convencionais, também poderia funcionar em horários definidos, visto que o sistema proposto apenas utiliza a humidade do solo, numa estação de maior calor, a humidade do solo irá se reduzir a um ritmo mais acelerado do que numa estação onde as temperaturas são mais baixas. Desta forma, seria possível poupar ainda mais água, bem como energia elétrica, visto que o sistema apenas estaria ligado apenas nas horas indicadas. Sendo que o sensor de humidade do solo, irá se degradar com o tempo, também ajudaria a longevidade do sistema.

Não foi possível implementar uma interface gráfica para monitorização do sistema, como era pretendido. O Arduino MKR 1010 wifi foi o micro controlador escolhido pelo facto de ter capacidade de ligação à Internet. Desta forma, os dados recolhidos poderiam ser enviados para a Arduino Cloud onde o utilizador do sistema poderia, então, monitorizar o sistema através do seu smartphone. No entanto, como já referido, não foi possível implementar tal interface.

Diferentes solos têm características diferentes e devido a estas diferenças, existem outros fatores a considerar para um sistema de rega inteligente, tais como a capacidade de retenção de água do solo, a estação do ano, mas também outros fatores como o tipo de plantas para o qual o sistema será utilizado.

REFERENCES

- [1] U. Nations, “Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development,” <https://sdgs.un.org/2030agenda>, 2015, accessed: 2022-05-09.
- [2] B. K. Mishra, P. Kumar, C. Saraswat, S. Chakraborty, and A. Gautam, “Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions,” *Water*, vol. 13, no. 4, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/4/490>
- [3] J. L. Schlamovitz and P. Becker, “Differentiated vulnerabilities and capacities for adaptation to water shortage in gaborone, botswana,” *International Journal of Water Resources Development*, vol. 37, no. 2, pp. 278–299, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/07900627.2020.1756752>
- [4] M. Jafari Shalamzari and W. Zhang, “Assessing water scarcity using the water poverty index (wpi) in golestan province of iran,” *Water*, vol. 10, p. 1079, 08 2018.
- [5] UNICEF and WHO, “Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities,” <https://www.unicef.org/reports/progress-on-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2019>, 2019, accessed: 2022-05-09.
- [6] I. Orimoloye, J. Belle, A. OLUSOLA, E. Busayo, and O. Ololade, “Spatial assessment of drought disasters, vulnerability, severity and water shortages: A potential drought disaster mitigation strategy,” *Natural Hazards*, 02 2021.
- [7] M. Salehi, “Global water shortage and potable water safety; today’s concern and tomorrow’s crisis,” *Environment International*, vol. 158, p. 106936, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021005614>
- [8] N. K. Nawandar and V. R. Satpute, “Iot based low cost and intelligent module for smart irrigation system,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 162, pp. 979–990, 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918318076>
- [9] D. Pimentel, B. Berger, D. Filiberto, M. Newton, B. Wolfe, E. Karabinakis, S. Clark, E. Poon, E. Abbott, and S. Nandagopal, “Water Resources: Agricultural and Environmental Issues,” *BioScience*, vol. 54, no. 10, pp. 909–918, 10 2004. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2)
- [10] L. Garcia, L. Parra, J. Jimenez, J. Lloret, and P. Lorenz, “Iot-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and iot systems for irrigation in precision agriculture,” *Sensors*, vol. 20, p. 1042, 02 2020.
- [11] Expresso, “Percentagem de água no solo diminuiu em quase todo o território continental, com as regiões mais interiores, como trás-os-montes e beira alta, com valores inferiores a 20%”, <https://expresso.pt/sociedade/2022-04-21-Portugal-continental-com-819-do-territorio-em-seca-moderada-4509c803>, 2022, accessed: 2022-06-03.
- [12] IPMA, “Situação de seca meteorológica 15 de abril de 2022,” https://www.ipma.pt/resources/www/docs/im/publicacoes/edicoes.online/20220420/tNYgmcheekUxZTQZnkSU/cli_20220401_20220415_sec_1q_co_pt.pdf, 2022, accessed: 2022-06-03.
- [13] S. N. Daskalakis, G. Goussis, S. D. Assimonis, M. M. Tentzeris, and A. Georgiadis, “A uw backscatter-morse-leaf sensor for low-power agricultural wireless sensor networks,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 19, pp. 7889–7898, 2018.
- [14] J. Guruprasadh, A. Harshananda, I. Keerthana, K. Y. Krishnan, M. Rangarajan, S. Sathyadevan *et al.*, “Intelligent soil quality monitoring system for judicious irrigation,” in *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. IEEE, 2017, pp. 443–448.
- [15] L. Parra, V. Ortúñoz, S. Sendra, and J. Lloret, “Low-cost conductivity sensor based on two coils,” in *Proceedings of the First International Conference on Computational Science and Engineering (CSE’13), Valencia, Spain*, 2013, pp. 6–8.
- [16] S. Sendra, L. Parra, V. Ortúñoz, J. Lloret, and U. De Valencia, “A low cost turbidity sensor development,” in *Proceedings of the Seventh International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2013.
- [17] C. A. González-Amarillo, J. C. Corrales-Muñoz, M. Á. Mendoza-Moreno, A. F. Hussein, N. Arunkumar, G. Ramirez-González *et al.*, “An iot-based traceability system for greenhouse seedling crops,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 67528–67535, 2018.
- [18] S. Ahmed, A. S. Shekhawat, S. G. Kumar, M. Nair, and V. Kumar, “Intelligence: An iot based framework for smarter irrigation,” in *Proceedings of the National Conference on Product Design (NCPD 2016), Bangalore, India*, vol. 30, 2016.
- [19] M. O. Yusuf, “Information and communication technology and education: Analysing the nigerian national policy for information technology.” *International education journal*, vol. 6, no. 3, pp. 316–321, 2005.
- [20] C. Cambra, S. Sendra, J. Lloret, and L. Garcia, “An iot service-oriented system for agriculture monitoring,” in *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [21] G. Arvind, V. Athira, H. Haripriya, R. A. Rani, and S. Aravind, “Automated irrigation with advanced seed germination and pest control,” in *2017 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)*. IEEE, 2017, pp. 64–67.
- [22] K. Ammour, “Factory automation and irrigation control in an iot environment,” in *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*. IEEE, 2018, pp. 120–128.
- [23] K. Singh, S. Jain, V. Andhra, and S. Sharma, “Iot based approach for smart irrigation system suited to multiple crop cultivation,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 12, pp. 357–363, 2019.
- [24] H. Wu, F. Chen, H. Hu, Q. Liu, and S. Ji, “A secure system framework for an agricultural iot application,” in *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing*. Springer, 2016, pp. 332–341.
- [25] V. K. Solanki, M. Venkaesan, and S. Katiyar, “Conceptual model for smart cities: Irrigation and highway lamps using iot,” 2017.
- [26] T. Wasson, T. Choudhury, S. Sharma, and P. Kumar, “Integration of rfid and sensor in agriculture using iot,” in *2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)*. IEEE, 2017, pp. 217–222.

- [27] R. Johar, A. Bensenouci, and M.-A. Bensenouci, "Iot based smart sprinkling system," in *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*. IEEE, 2018, pp. 147–152.
- [28] M. Ryu, J. Yun, T. Miao, I.-Y. Ahn, S.-C. Choi, and J. Kim, "Design and implementation of a connected farm for smart farming system," in *2015 IEEE SENSORS*. IEEE, 2015, pp. 1–4.
- [29] A. Reche, S. Sendra, J. R. Díaz, and J. Lloret, "A smart m2m deployment to control the agriculture irrigation," in *International conference on ad-hoc networks and wireless*. Springer, 2014, pp. 139–151.
- [30] O. Chieochan, A. Saokaew, and E. Boonchieng, "Internet of things (iot) for smart solar energy: A case study of the smart farm at maejo university," in *2017 international conference on control, automation and information sciences (ICCAIS)*. IEEE, 2017, pp. 262–267.
- [31] S. S. Arumugam, M. Ganeshmurthi, R. Annadurai, and V. Ravichandran, "Internet of things based smart agriculture," *Int. J. Adv. Comput. Electron. Eng*, vol. 33, pp. 8–17, 2018.
- [32] E. Boonchieng, O. Chieochan, and A. Saokaew, "Smart farm: Applying the use of nodemcu, iot, netpie and line api for a lingzhi mushroom farm in thailand," *IEICE Transactions on Communications*, vol. 101, no. 1, pp. 16–23, 2018.
- [33] S. Rawal, "Iot based smart irrigation system," *International Journal of Computer Applications*, vol. 159, no. 8, pp. 7–11, 2017.
- [34] T. Guo and W. Zhong, "Design and implementation of the span greenhouse agriculture internet of things system," in *2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics (FPM)*. IEEE, 2015, pp. 398–401.
- [35] A. Khattab, A. Abdalgawad, and K. Yelmarthi, "Design and implementation of a cloud-based iot scheme for precision agriculture," in *2016 28th International Conference on Microelectronics (ICM)*. IEEE, 2016, pp. 201–204.
- [36] S. N. Daskalakis, G. Goussetis, S. D. Assimonis, M. M. Tentzeris, and A. Georgiadis, "A uw backscatter-morse-leaf sensor for low-power agricultural wireless sensor networks," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 19, pp. 7889–7898, 2018.
- [37] S. Barkunan, V. Bhanumathi, and J. Sethuram, "Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 73, pp. 180–193, 2019.
- [38] K. Sivaprasath and G. Parameswaran, "Arduino based smart drip irrigation system using iot," in *International Journal of Engineering Science and Computing (IJESC)*, 2016.
- [39] A. Kumar, A. Surendra, H. Mohan, K. M. Valliappan, and N. Kirthika, "Internet of things based smart irrigation using regression algorithm," in *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT)*. IEEE, 2017, pp. 1652–1657.
- [40] R. K. Kodali, V. Jain, and S. Karagwal, "Iot based smart greenhouse," in *2016 IEEE region 10 humanitarian technology conference (R10-HTC)*. IEEE, 2016, pp. 1–6.
- [41] S. A. H. Z. Abidin and S. N. Ibrahim, "Web-based monitoring of an automated fertigation system: An iot application," in *2015 IEEE 12th Malaysia International Conference on Communications (MICC)*. IEEE, 2015, pp. 1–5.
- [42] P. Banumathi, D. Saravanan, M. Sathyapriya, and V. Saranya, "An android based automatic irrigation system using bayesian network with sms and voice alert," *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol*, vol. 2, no. 2, pp. 573–578, 2017.
- [43] L. Mechsy, M. Dias, W. Pragithmukar, and A. Kulasekera, "A mobile robot based watering system for smart lawn maintenance," in *2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*. IEEE, 2017, pp. 1537–1542.
- [44] D. Rahul, S. Sudarshan, K. Meghana, K. Nandan, R. Kir思hana, and P. Sure, "Iot based solar powered agrobot for irrigation and farm monitoring: Agrobot for irrigation and farm monitoring," in *2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*. IEEE, 2018, pp. 826–831.
- [45] N. Vasu, K. Shyam, and Y. Sri, "Intelligent drip irrigation system based on remote monitoring," *Int. J. Ethics Eng. Manag. Educ*, vol. 4, pp. 11–13, 2017.
- [46] R. R. Agale and D. Gaikwad, "Automated irrigation and crop security system in agriculture using internet of things," in *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*. IEEE, 2017, pp. 1–5.
- [47] A. H. Abbas, M. M. Mohammed, G. M. Ahmed, E. A. Ahmed, and R. A. A. A. Abul Seoud, "Smart watering system for gardens using wireless sensor networks," pp. 1–5, 2014.
- [48] A. Goap, D. Sharma, A. Shukla, and C. Rama Krishna, "An iot based smart irrigation management system using machine learning and open source technologies," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 155, pp. 41–49, 2018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918306987>
- [49] S. Premkumar and A. Sigappi, "Iot-enabled edge computing model for smart irrigation system," *Journal of Intelligent Systems*, vol. 31, no. 1, pp. 632–650, 2022.
- [50] Amazon, "Orbit 21004 b-hyve smart hose faucet timer with wi-fi hub, compatible with alexa," https://www.amazon.es/dp/B0758NR8DJ/ref=as_li_tf_t1?SubscriptionId=&ie=UTF8&linkCode=gs2&creativeASIN=B0758NR8DJ&tag=bestreviews08-21&creative=9325&camp=1789, 2022, accessed: 2022-06-02.
- [51] amazon, "Netro controlador inteligente de riego, wifi, tiempo aware, acceso remoto, 6 zona, compatible con alexa," https://www.amazon.es/Netro-Controlador-inteligente-Tiempo-compatible/dp/B076CZ6DHR/ref=sr_1_1?camp=1789&creative=9325&creativeASIN=B06XCRZWMN&keywords=Netro%2BSmart%2BSprinkler%2BController%2C%2BWiFi%2C%2BWeather%2Baware%2C%2BRemote%2Baccess%2C%2B12%2BZone%2C%2BCompatible%2Bwith%2BAlexa&linkCode=gs3&qid=1654183447&sr=8-1&th=1, 2022, accessed: 2022-06-02.
- [52] T. M. e Nelson Vieira, "Soil moisture sensor — tinkercad," <https://www.tinkercad.com/things/cVA9j41ihVc?sharecode=VbqGya-IQEWTgjZayucm7119nioq8N4ObpvHCJ4AIk>, 2022, accessed: 2022-06-02.
- [53] JardinsSintra, "Siro turfa 100," <https://jardinssintra.pt/produto/siro-turfa-100/>, accessed: 2022-06-03.
- [54] F. Arduino, "[solved] mkr1010 port not found," <https://forum.arduino.cc/t/solved-mkr1010-port-not-found/682325/2>, 2020, accessed: 2022-05-13.