SUSTENTABILIDADE ESCOLAR: REUSO DE ÁGUA E AUTOMAÇÃO

Dânlei de Oliveira Preato[1], Kachia Hedeny Téchio[2]

[1]Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura, Brasil (danley_preato@hotmail.com)
[2]Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura, Brasil.

Resumo: Este estudo investiga a viabilidade do reuso de água de condensação de sistemas de climatização integrado à automação de baixo custo para irrigação escolar no CTPM VIII, em Rolim de Moura, Rondônia. A pesquisa fundamenta-se na necessidade de mitigar a crise hídrica regional, oficializada pelo Decreto Estadual nº 29.252/2024. A metodologia aplicada, de caráter experimental, consistiu no mapeamento de condensadores e na implementação de um sistema de captação hidráulica via PVC, gerido por uma rede de Internet das Coisas (IoT) com o microcontrolador NodeMCU ESP8266 e sensores capacitivos. Análises laboratoriais acreditadas atestaram a qualidade da água captada (pH 7,19 e DBO 1,02 mg/L), enquadrando-a na Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para irrigação de hortaliças consumidas cruas. Os resultados indicam uma produção de 18,4 litros de água por aparelho em um ciclo de 8 horas, enquanto a automação via plataforma *Arduino Cloud* garantiu a estabilidade hídrica da horta vertical sob condições térmicas extremas (>35°C). Conclui-se que a convergência entre tecnologia social e educação científica promove a sustentabilidade escolar e o protagonismo estudantil, oferecendo um modelo escalável para instituições públicas em regiões tropicais

***Palavras-chave*:** Reuso de Água; Internet das Coisas (IoT); Sustentabilidade Escolar; Amazônia; Eficiência Hídrica.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por recursos hídricos, intensificada pelas mudanças climáticas e pelo crescimento populacional desordenado, impõe a necessidade urgente de soluções inovadoras para o uso racional da água em todas as esferas da sociedade (Von Sperling, 2005). No contexto específico da região amazônica, embora persista no imaginário coletivo uma percepção de abundância infinita, a realidade contemporânea de estados como Rondônia revela vulnerabilidades críticas.

Em julho de 2024, o estado enfrentou uma crise sem precedentes, entrando em situação de emergência hídrica oficializada pelo Decreto Estadual nº 29.252/2024 e pela Portaria Federal nº 2.545/2024. Este cenário de escassez hídrica extrema, que afeta o abastecimento humano e a produção agrícola, exige que as instituições de ensino deixem de ser apenas locais de transmissão de conteúdo para se tornarem laboratórios vivos de tecnologias sociais e sustentáveis. O Colégio Tiradentes da Polícia Militar – Unidade VIII (CTPM VIII), em Rolim de Moura, identifica o desperdício crônico de água em seu ambiente, especificamente a água de condensação gerada pela grande rede de sistemas de climatização necessária para o conforto térmico na região.

Esta água, subproduto do resfriamento do ar, é frequentemente descartada de forma inadequada, contribuindo para o umedecimento excessivo de estruturas prediais ou simplesmente se perdendo no solo. O presente projeto busca responder à problemática de como o reuso dessa água, aliado à automação de baixo custo, pode contribuir para a irrigação sustentável e para a educação científica. Sob a perspectiva da pedagogia crítica, Freire (1996) destaca a importância de educar para a autonomia, onde o aluno deixa de ser um mero receptor de informações e passa a intervir criticamente em sua realidade. A aplicação de conhecimentos científicos para a resolução de problemas reais do ambiente escolar reflete exatamente esse princípio. Corroborando com essa abordagem, Lima (2017) aponta que a utilização de hortas escolares atua como um potente recurso didático e pedagógico para o ensino de Ciências da Natureza e sustentabilidade, permitindo a articulação prática entre os componentes curriculares.

O presente trabalho teve por finalidade desenvolver um sistema funcional de reaproveitamento hídrico que integre a Internet das Coisas (IoT) para a gestão de uma horta escolar. Para tal, o trabalho fundamenta-se na interdisciplinaridade proposta pela Trilha

Movimento Sustentável, articulando conhecimentos de Matemática (cálculos de volume e vazão), Biologia (fisiologia vegetal e qualidade da água), Química (análise de parâmetros físico-químicos) e Física (termodinâmica e circuitos elétricos). A base teórica ancorou-se nos princípios da Economia Circular e nas diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), que preconiza o protagonismo estudantil e a iniciação científica como ferramentas de transformação social.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Recursos Hídricos

Entre os recursos dos quais o homem dispõe e necessita, o mais importante é a água, que é indispensável para a sobrevivência do ser humano. Apesar de ser essencial para o surgimento e manutenção da vida no planeta, na vida moderna ela é indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades criadas pelo ser humano, apresentando, por esta razão, valores econômicos, sociais e culturais
Segundo dados quantitativos, produzidos por hidrólogos, 97,5% da água disponível na Terra são salgadas e 2,493% estão concentrados em geleiras ou regiões subterrâneas de difícil acesso; sobram, portanto, apenas 0,007% de água doce para o uso humano, disponível em rios, lagos e na atmosfera (Shiklomanov *apud* Machado, 2003).
De acordo com Machado (2003, p.14):

> Com o crescimento acelerado da população e o desenvolvimento industrial e tecnológico, essas poucas fontes disponíveis de água doce estão comprometidas ou correndo risco. A poluição dos mananciais, o desmatamento, o assoreamento dos rios, o uso inadequado de irrigação e a impermeabilização do solo, entre tantas outras ações do homem moderno, são responsáveis pela escassez e contaminação da água. Atualmente, mais de 1,3 bilhão de pessoas carecem de água doce no mundo, e o consumo humano de água duplica a cada 25 anos, aproximadamente. Com base nesse cenário, a água doce adquire uma escassez progressiva e um valor cada vez maior, tornando-se um bem econômico propriamente dito.

Para Maia Neto (1997 apud Paz, 2000, p. 467), o Brasil é o país mais rico em água potável, com 8% das reservas mundiais, concentrando 18% do potencial de água de superfície do planeta.
Apesar da situação aparentemente favorável, observa-se que no Brasil uma enorme desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos, conforme pode ser observado na FIGURA 1. Quando se comparam essas situações com a abundância de água da Bacia Amazônica, que corresponde às regiões Norte e Centro-Oeste, contrapondo-se a problemas de escassez no Nordeste e conflitos de uso nas regiões Sul e Sudeste, a situação se agrava.
De acordo com PROJETO ÁGUA (1998 *apud* Paz, 2000, p. 467), ao comparar a disponibilidade de recursos hídricos com a população que deles dependem, o Brasil deixa de ser o país com maior abundância em água potável e passa ao vigésimo terceiro no planeta.

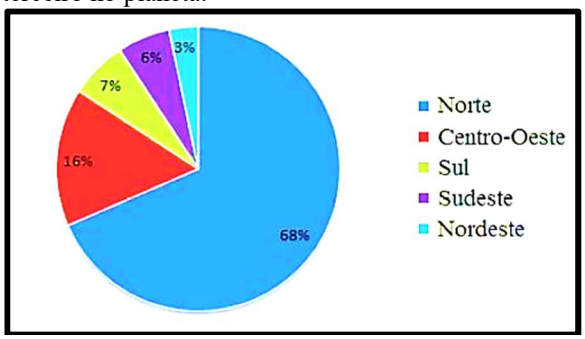


Figura 1: Distribuição de recursos hídricos no Brasil.
Fonte: Paz, 2000.
Além disto, é possível observar o imenso contraste entre porcentagem de recursos hídricos nas regiões e tanto porcentagem de superfície (área territorial) quanto de população, conforme Quadro 1:
Quadro 1: Distribuição de recursos hídricos, superfície e população no Brasil.

Região	Recurso [%]	Superfície [%]	População
Centro-Oeste	15,70	18,80	06,41
Nordeste	03,30	18,30	28,91
Norte	68,50	45,30	06,98
Sudeste	06,00	10,80	42,65
Sul	06,50	06,80	15,05

Fonte: Granja, 2006.
Como solução, um amplo conceito foi consolidado no Brasil de melhoria no saneamento ambiental, englobando fatores como o abastecimento de água e o esgotamento sanitário, além de controle de resíduos sólidos. Uma política de água envolve,consequentemente, políticas de saneamento e de meio ambiente.
O aproveitamento das águas que seriam desperdiçadas se caracteriza por ser uma das soluções mais baratas e simples para preservar a água potável. Com a crescente preocupação relacionada à água potável, práticas de reaproveitamento da água se tornam cada vez mais viáveis.
De acordo com os dados do IBGE (2010), atualmente a população urbana do Brasil representa 84% do total da população, gerando, assim, grande consumo dos recursos hídricos, tendo em vista que os usos múltiplos dependem de águas superficiais subterrâneas.
Com o intuito de obter o controle e a gestão das águas foi elaborado o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecido pela Lei Federal nº 9.433/97, que tem como objetivo específico: “a melhoria das disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas,

em qualidade e quantidade; a redução dos conflitos reais e potenciais de uso da água; e, a percepção da conservação da água como valor socioambiental relevante".

Sistemas de Condicionamento de Ar

Antes de conhecer as técnicas para o aproveitamento da água, precisamos entender princípio básico do funcionamento dos aparelhos, e como ocorre esta geração de água que, muitas vezes é desperdiçada.
Apesar da variedade de aparelhos de condicionadores de ares, o princípio do sistema de refrigeração de expansão direta segue o mesmo modelo, onde a refrigeração se dá basicamente por meio de um fluído refrigerante. Normalmente, o fluído mais utilizado é o freon, termo característico dos vários fluorcarbonos não inflamáveis que passam facilmente do estado de gás frio para gás quente de alta pressão (Antonovicz e Weber, 2013).
Inicialmente, o mecanismo de refrigeração é oriundo da troca de calor do ambiente, que ocorre por meio da passagem de ar pela serpentina do evaporador. Nestas serpentinas encontra-se o gás refrigerante que refrigera ou aquece o ar de acordo com a temperatura solicitada usuário. O responsável pela circulação do gás dentro do equipamento é o compressor.
Quando o ar entra pelo evaporador e passa pela serpentina, ele retorna para o ambiente. Repetindo-se o ciclo até atingir a temperatura desejada. O termostato é quem mede a temperatura do ar que volta para o aparelho. Ao perceber que o ar do ambiente se encontra na temperatura desejada, o termostato desliga o compressor, mantendo, apenas, a ventilação do condicionador de ar.
Ocorrendo modificação, de temperatura o compressor é acionado novamente, por meio do termostato, efetuando a circular o fluído que vai esfriar ou esquentar o ar do área, o qual depende da necessidade do consumidor.
No caso da operação de aquecimento, existe uma válvula reversora que muda o caminho do gás, direcionando-o primeiramente para o evaporador. Assim, quem fica quente é o evaporador e o condensador fica frio.
O funcionamento do aparelho faz com que a umidade do ambiente presente no ar diminua por causa da condensação que ocorre quando este entra em contato com a serpentina da evaporadora, mantida a certa temperatura inferior à do ponto de orvalho (Antonovicz e Weber, 2013).

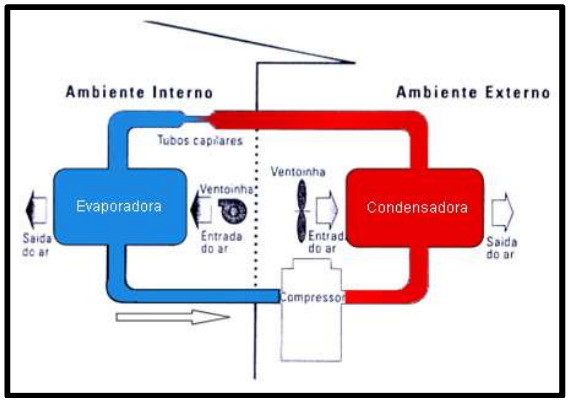


Figura 2: Esquema de funcionamento do ar condicionado.
Fonte: Antonovicz & Weber, 2013.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada possui caráter experimental e aplicado, fundamentada em uma abordagem qualitativa que envolveu a observação direta e a intervenção técnica no ambiente do CTPM VIII. A primeira etapa consistiu em um diagnóstico estrutural rigoroso, onde se realizou o mapeamento de todos os aparelhos de ar-condicionado da unidade escolar para quantificar o potencial de geração de água. Para o projeto piloto, selecionaram-se condensadores da marca Elgin, com capacidade de 24.000 BTUs, devido à sua localização estratégica próxima à área destinada à horta. A fase de captação envolveu o projeto e a execução de um sistema hidráulico utilizando tubulações de PVC de 20 mm, conectadas diretamente aos drenos dos aparelhos.

Esta água foi conduzida por gravidade até cisternas verticais confeccionadas com canos de PVC de 150 mm, com um metro de altura, totalizando uma capacidade de armazenamento de 16 litros por módulo. Durante a montagem, os estudantes participaram de oficinas práticas onde aplicaram conceitos matemáticos para calcular o volume cilíndrico dos reservatórios e aferir a vazão dos aparelhos, que se mostrou constante em aproximadamente 2,3 litros por hora por condensador. Simultaneamente, para validar a segurança do uso desta água na produção de alimentos, amostras foram coletadas seguindo protocolos rigorosos de preservação e enviadas a um laboratório certificado pela ISO 9001:2015 e acreditado pela ISO 17025:2017. Os parâmetros analisados foram confrontados com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre as águas doces destinadas à irrigação.

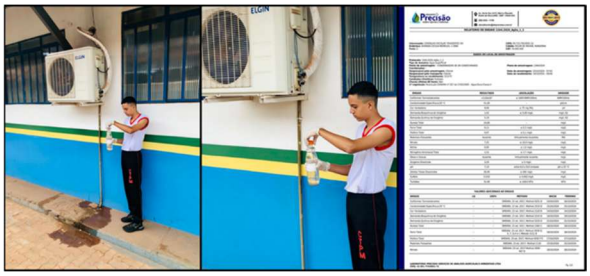


Imagem 01: Coleta da água dos condensadores de ar, e resultado da análise.

No que tange à automação, desenvolveu-se um sistema baseado no microcontrolador NodeMCU ESP8266, escolhido por sua versatilidade e conectividade Wi-Fi nativa. O circuito integra um sensor de umidade do solo capacitivo (H0-38), que apresenta maior durabilidade contra corrosão em comparação aos modelos resistivos, e um sensor DHT para monitoramento de temperatura e umidade relativa do ar (Pereira et al., 2022; Santos et al., 2025). A programação foi realizada em linguagem C++ através da IDE do Arduino e integrada à plataforma Arduino Cloud. Foram configuradas cinco variáveis lógicas para o monitoramento remoto: umidade do solo, clima, estado do relé e os limites de umidade. A lógica de controle foi programada para que a irrigação fosse ativada automaticamente apenas quando o solo atingisse o limiar crítico de ressecamento, desligando-se ao alcançar a saturação ideal, evitando assim o desperdício de água e o estresse hídrico das plantas.



Imagem 02: Montagem do sistema de automação, e layout da página do sistema.

Paralelamente, foi implantada uma horta vertical do tipo escada, construída com tubos de PVC de 100 mm, onde as plantas são irrigadas exclusivamente com a água reaproveitada através de um sistema de gotejamento por gravidade controlado eletronicamente. Todo o processo foi acompanhado por registros audiovisuais e coleta de dados técnicos, permitindo reflexões críticas sobre sustentabilidade e crise hídrica integradas ao currículo escolar.

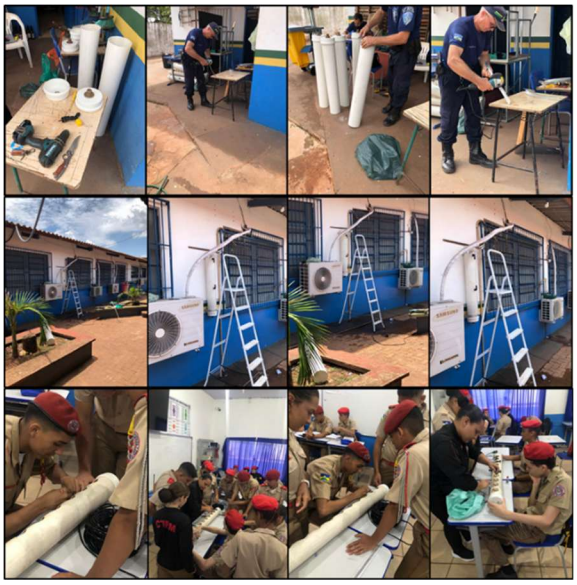


Imagem 03: Montagem das cisternas para captar água, e montagem do sistema de gotejamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados alcançados demonstram que a integração entre tecnologia e sustentabilidade no ambiente escolar é plenamente viável e gera dados robustos para a discussão acadêmica. A análise laboratorial da água de condensação revelou um pH de 7,19, o que indica uma neutralidade ideal para a maioria das culturas de hortaliças, evitando a necessidade de correção química do solo. O valor de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) de 1,02 mg/L é extremamente baixo, sinalizando a ausência de carga orgânica poluente significativa. Outros parâmetros, como o Ferro Total (0,11 mg/L), Fósforo Total (0,07 mg/L) e Nitrogênio Amoniacal (1,51 mg/L), mantiveram-se confortavelmente dentro dos limites estipulados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de Classe 2, que podem ser utilizadas para irrigação de hortaliças consumidas cruas.

A eficiência do sistema de automação foi validada pela estabilidade dos dados apresentados no *dashboard* da Arduino Cloud. Observou-se que a horta manteve níveis de umidade constantes, independentemente das oscilações térmicas externas, que em Rolim de Moura frequentemente ultrapassam os 35°C. A economia de água potável, embora difícil de mensurar em escala total no projeto piloto, é significativa se projetada para todos os aparelhos da escola; em um dia letivo de 8 horas, um único aparelho produz cerca de 18,4 litros de água pura, que anteriormente causava infiltrações no solo ou nas paredes.



Imagem 04: Estudantes engajados montando os canteiros suspensos.

Pedagogicamente, o projeto promoveu o protagonismo estudantil, onde os alunos não apenas montaram a estrutura física, mas também se envolveram na programação dos componentes e na conscientização da comunidade através de vídeos em redes sociais. A discussão dos resultados com os alunos revelou um aumento no engajamento com as disciplinas de Ciências da Natureza, na qual, a visualização gráfica dos dados (temperatura vs. umidade) permitiu que os estudantes compreendessem a relação entre o clima e a evapotranspiração das plantas. Além disso, a autonomia conferida pelo sistema IoT permitiu que a horta fosse monitorada mesmo durante finais de semana e feriados, solucionando um dos principais gargalos das hortas escolares tradicionais: a mortalidade de plantas por falta de manutenção em períodos não letivos.

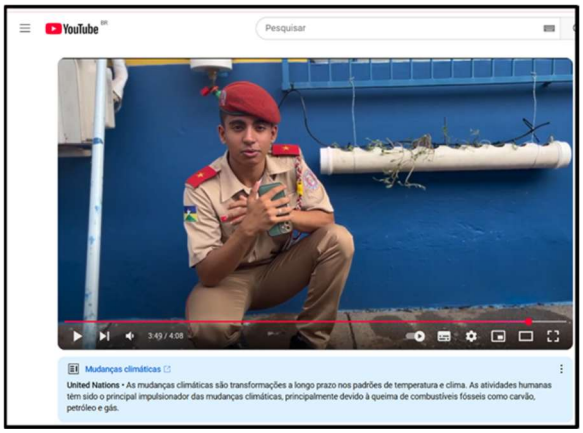


Imagem 05: Vídeo de divulgação do projeto[1].

CONCLUSÃO

A presente iniciativa possibilitou aferir que a inovação tecnológica pode ser implementada com baixo custo em escolas públicas, gerando impactos positivos imediatos entre os estudantes, o sistema piloto validou o reuso da água de condensadores como uma fonte hídrica segura e constante durante os períodos de funcionamento dos aparelhos de ar-condicionado.

Além da economia de água potável, o projeto fortalece a educação ambiental integrada nas escolas públicas, preparando os estudantes para enfrentar desafios globais com soluções locais e de baixo custo. A expansão futura prevê a captação total de todos os condensadores da escola, ampliando a capacidade de produção da horta e consolidando o CTPM VIII como um modelo de sustentabilidade e inovação tecnológica em Rondônia.

[1]https://www.youtube.com/watch?v=QR52nPARmdM

REFERÊNCIAS

ANTONOVICZ, Diego; WEBER, Rhuann Georgio Bueno. PMOC - **Plano de Manutenção Operação e controle-nos condicionadores de ar do Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. TCC** – Curso de graduação de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2013. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1380/1/MD_COMIN_2012_2_10.pdf >

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2005.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Portaria Federal nº 2.545, de 2024**. Reconhece a situação de emergência em municípios do Estado de Rondônia. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2024.

CASTILHO, F. B. El uso del plástico en la produccion mundial de alimentos. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE PLASTICULTURA, 1., 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1989. p. 1-20.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

LIMA, M. R. C. **A horta hidropônica como possibilidade do ensino das ciências**: um estudo de caso numa escola de ensino fundamental do município de Horizonte - Ceará. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MACHADO. **Recursos hídricos e cidadania no Brasil: limites, alternativas e desafios**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006.

MARQUES, I. I.; NIZZOLI FILHO, I.; SANTOS, A. R. Use of reuse water as a replacement for water loss in cooling towers. **Research, Society and Development**, [*S. l.*], v. 11, n. 11, p. 1-10, 2021.

MARTINEZ, H. E. P.; SILVA FILHO, J. B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2006.

PAZ. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.465-473. Campina Grande, PB, DEAg / UFPB, 2000.

PEREIRA, R. M.; SANDRI, D.; SILVA JÚNIOR, J. J. da. Avaliação de sensores de umidade capacitivos de baixo custo em três tipos de solos no Cerrado brasileiro. **Revista Engenharia na Agricultura (REVENG)**, Viçosa, MG, v. 30, p. 262-272, 2022.

RONDÔNIA. **Decreto Estadual nº 29.252, de 2024**. Declara situação de emergência no Estado de Rondônia em virtude da escassez hídrica. Porto Velho: Diário Oficial do Estado de Rondônia, 2024.

SANTOS, M. M. dos; OLIVEIRA, F. A. de; CARVALHO, E. A. de. Intelligent system for automated soil moisture monitoring. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 29, n. 2, p. 1-7, 2025.

SILVEIRA JUCA, S. C. *et al*. Construction of soil moisture and irrigation IoT monitoring system using Project-Based Learning. **International Journal for Innovation Education and Research**, [*S. l.*], v. 6, n. 8, p. 99-111, 2018.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005. v. 1.