



**Monitorização das partículas em suspensão no ar provenientes de resíduos sólidos
nas instalações de tratamento de águas residuais**

CENTRO DE RECURSOS FLIGHT

Administração de Água e Saneamento de Gaziantep - TURQUIA



Co-funded by
the European Union

Índice

1.	INTRODUZIONE.....	2
2.	DESTINATARI.....	2
3.	SETTORE DI APPLICAZIONE.....	2
4.	TIPO.....	2
5.	DRONE UTILIZZATO.....	2
6.	DURATA.....	3
7.	OBIETTIVI DI APPRENDIMENTO.....	3
8.	COMPETENZE CHIAVE SVILUPPATE.....	3
1.	Comunicazione e lingue.....	3
2.	Competenze matematiche, scientifiche, tecniche e professionali.....	3
3.	Competenze digitali.....	3
4.	Competenze personali, sociali e professionali.....	3
5.	Sicurezza, qualità e sostenibilità.....	4
6.	Cittadinanza e competenza culturale.....	4
7.	Creatività, capacità di risoluzione dei problemi e spirito imprenditoriale.....	4
8.	Apprendimento basato sul lavoro e integrazione nel mondo del lavoro.....	4
9.	PREREQUISITI.....	4
10.	SCHEMA DELLA LEZIONE.....	5
	Fase 1 – Introduzione (Coinvolgimento e Contestualizzazione).....	5
	Fase 2 – Esplorazione (Indagine e Confronto).....	6
	Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche).....	7
	Fase 4 – Riflessione e Consolidamento (Presentazione).....	8
11.	CRITERI DI VALUTAZIONE (focus sulle polveri industriali e sulle emissioni).....	9
12.	MATERIALI DIDATTICI.....	11



1. BREVE DESCRIÇÃO

Os alunos medirão os dados relativos a partículas e gases utilizando o sensor BME680 para analisar os efeitos da concentração de poeiras e da qualidade do ar na saúde dos trabalhadores e na vida útil das máquinas nas secções de resíduos sólidos (secagem de lamas ou separação mecânica) das instalações de tratamento de águas residuais.

2. PÚBLICO-ALVO

- ☐ 15
- ☐ 16
- ☒ 17
- ☐ 18
- ☐ Mais de 18 anos

3. ÁREA DISCIPLINAR

- ☐ Agricultura
- ☒ Resposta a emergências
- ☐ Construção
- ☐ Gestão da água
- ☐ Proteção ambiental
- ☐ Outro

4. TIPO

- ☐ Plano de aula
- ☒ Projeto
- ☐ Atividade

5. DRONE UTILIZADO

- ☒ Drone personalizado
- ☐ Drone comercial (DJI)



6. DURAÇÃO

- ☐ 1 aula de 45 minutos - Portugal
- ☐ 1 aula de 60 minutos
- ☐ 1 bloco de 90 minutos
- ☐ 2 aulas de 45 minutos
- ✓ 2 aulas de 60 minutos
- ☐ Sessão dupla (2 × 60 minutos) com trabalhos de casa facultativos baseados em projetos.

7. OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Os alunos monitorizarão os compostos orgânicos voláteis e a densidade das poeiras em tempo real utilizando o índice IAQ (Qualidade do Ar Interior/Exterior) do sensor BME680. Utilizando os dados recolhidos pelos drones, os alunos demonstrarão como as poeiras permanecem em suspensão a diferentes alturas (ao nível do solo em comparação com as linhas de transferência no teto) nas áreas de eliminação de resíduos sólidos. Os alunos desenvolverão uma "Estratégia de supressão e filtração de poeiras" para combater os riscos de desgaste dos componentes mecânicos e os riscos para a saúde do pessoal causados por níveis elevados de poeiras.

8. COMPETÊNCIAS-CHAVE DESENVOLVIDAS

1. Comunicação e línguas

- ✓ Competência de literacia (compreensão e produção de textos escritos/orais)
- ✓ Comunicação em contextos profissionais
- ☐ Competência multilingue

2. Competências matemáticas, científicas, técnicas e profissionais

- ✓ Competência matemática
- ☐ Competência científica, tecnológica e de engenharia (STEM)
- ☐ Competências numéricas aplicadas às tarefas profissionais
- ☐ Interpretação de informações técnicas (manuais, diagramas, normas)
- ☐ Competências profissionais/técnicas
- ☐ Execução de tarefas práticas

3. Competências digitais

- ✓ Competência digital (literacia digital geral)
- ☐ Utilização de ferramentas digitais em contexto profissional



4. Competências pessoais, sociais e profissionais

- ✓ Competência pessoal, social e de aprendizagem
- ☐ Trabalho em equipa e colaboração
- ☐ Autonomia e responsabilidade
- ☐ Ética de trabalho e comportamento profissional
- ☐ Adaptabilidade e flexibilidade
- ✓ Colaboração com supervisores e colegas

5. Segurança, qualidade e sustentabilidade

- ☐ Aplicação das normas em matéria de saúde e segurança (OHS/SST)
- ☐ Procedimentos de qualidade e normas no local de trabalho
- ✓ Consciência ambiental e de sustentabilidade

6. Cidadania e competência cultural

- ✓ Competência de cidadania
- ☐ Consciência cultural e competência de expressão

7. Criatividade, resolução de problemas e espírito empreendedor

- ✓ Resolução de problemas e pensamento crítico
- ☐ Competência de empreendedorismo
- ☐ Iniciativa e criatividade
- ☐ Tomada de decisões em situações reais de trabalho

8. Aprendizagem em contexto de trabalho e integração no mundo laboral

- ☐ Integração nas rotinas de trabalho
- ☐ Cumprimento das instruções e dos procedimentos profissionais
- ✓ Utilização de ferramentas, equipamentos e tecnologias

Esta lista de verificação combina as Competências Essenciais da EU para a Aprendizagem ao Longo da Vida com as competências fundamentais esperadas no Ensino e Formação Profissional europeu (VET).

9. CONHECIMENTOS PRÉVIOS / PRÉ-REQUISITOS

Espera-se que os alunos adquiram conhecimentos básicos de Arduino/MicroPython e das normas fundamentais em matéria de saúde e segurança no trabalho.

No que diz respeito à utilização da tecnologia, os alunos devem estar familiarizados com os princípios fundamentais da segurança de voo dos drones, incluindo as verificações pré-voo, os procedimentos seguros de descolagem e aterragem, a gestão da bateria e a manutenção da linha de visão. Competências digitais básicas, como a utilização de um dispositivo móvel ou de um tablet para o controlo do voo e a revisão das imagens captadas, favorecerão uma participação eficaz na aula.



10. ESTRUTURA DA AULA/PROJETO

Fase 1 – Introdução (Envolver e contextualizar)

Fase 1: O “Perigo Invisível” (Poeiras industriais e emissões de gases nas instalações de tratamento e lógica dos sensores)

Parte 1: Estudo de caso “O Perigo Invisível” e introdução técnica

Esta secção centra-se nos riscos presentes nas instalações de tratamento de águas residuais, em particular nas unidades de secagem de lamas e de separação mecânica, que muitas vezes não são perceptíveis pelos sentidos humanos.

Introdução aos “assassinos silenciosos”: uma análise detalhada das características (incolor, inodoro) e dos efeitos fisiológicos das fugas de biogás (metano, sulfureto de hidrogénio) e das partículas finas (PM) geradas durante o tratamento de resíduos sólidos.

Comportamento físico dos gases e das poeiras: discussões sobre os locais onde as emissões se acumulam em função da densidade; por exemplo, como os gases mais pesados do que o ar criam “bolsas de gás” letais nos tanques de sedimentação e como as concentrações de poeiras se dispersam através das correntes de ar.

Perspetiva de Saúde e Segurança no Trabalho (SSL): analisar cenários para compreender as consequências de uma ventilação inadequada ou da não utilização de equipamentos de proteção individual (DPI) em zonas de alto risco, como as áreas de secagem de lamas

Parte 2: Lógica de funcionamento dos sensores e infraestrutura técnica

Esta parte aprofunda o funcionamento do sensor **BME680** e de tecnologias análogas, explicando como tornam mensuráveis ameaças normalmente invisíveis.

Princípios dos sensores eletroquímicos e MOX: explicação de como as moléculas de gás reagem com os elétrodos dos sensores para gerar um sinal elétrico, que é depois convertido num valor numérico (ppm ou variação da resistência).

Valores-limite e níveis de alarme:

- **TWA (média ponderada no tempo):** limite de exposição durante um turno de 8 horas.
- **STEL (limite de exposição de curta duração):** limiar de segurança para intervalos de 15 minutos.
- **Sensibilidade cruzada:** análise da capacidade de um sensor reagir a gases diferentes do gás-alvo e do seu impacto na exatidão global dos dados.

Parte 3: Introdução à calibração dos sensores

Preparação para a implementação no terreno, salientando por que motivo os sensores devem ser verificados periodicamente para manter dados fiáveis:

- **Calibração de zero:** assegurar que o sensor apresenta exatamente “0” em ambientes com ar limpo, nos quais não estejam presentes gases-alvo nem poeiras industriais.
- **Calibração de amplitude:** verificação da exatidão da medição através da utilização de um gás de ensaio com uma concentração conhecida.
- **Envenenamento dos sensores:** explicação dos riscos de perda de sensibilidade dos sensores devido à exposição a substâncias químicas em alta concentração ou a silicões.



Questões orientadoras / Discussão em sala de aula:

1. Porque é que a monitorização das concentrações de gases e poeiras nas estações de tratamento de águas residuais representa uma defesa fundamental contra um "perigo invisível"?
2. De que modo o processo de calibração dos sensores num ambiente controlado garante a fiabilidade dos dados recolhidos durante as atividades de monitorização no terreno?
3. Porque é importante que o drone mantenha uma posição estacionária (voo pairado) sobre o mesmo ponto durante cerca de 30 segundos durante a amostragem, a fim de garantir medições estáveis, reduzir as flutuações devidas à turbulência do rotor e obter um registo rigoroso dos dados ambientais?

Fase 2 – Exploração (Investigar e comparar)**Fase 2: Calibração do módulo IAQ BME680 e descrição da integração do software**

Nesta fase, os alunos investigam as “três grandes ameaças” à segurança operacional nas estações de tratamento: acumulação de gases (envenenamento), deriva dos sensores (medição imprecisa) e limitações de acesso físico. Aprendem a integrar no software do drone o algoritmo que calcula o índice de qualidade do ar (IAQ), utilizando os dados de resistência ao gás e de humidade do sensor.

Parte 1: Processo de calibração e verificação técnica

Esta secção aborda a "colocação a zero" e o ajuste da sensibilidade dos sensores antes da utilização no terreno:

- **Calibração em ar zero:** os alunos aprendem a configurar o sensor exatamente em "0" em condições de ar limpo, onde não está presente qualquer gás-alvo, para eliminar o ruído de fundo.
- **Ajuste do intervalo:** a resposta do sensor é testada utilizando um "SpanGas" de concentração conhecida (por exemplo, 25 ppm de H₂S), para fazer corresponder as leituras digitais à concentração física efetiva.
- **Análise da deriva do sensor: discussão** sobre o motivo pelo qual a sensibilidade do sensor se altera ao longo do tempo devido a fatores ambientais e sobre como a calibração periódica evita uma "falsa sensação de segurança" para os trabalhadores.

Parte 2: Observação das diferenças nos dados entre ar limpo e ar poluído

Os alunos comparam os dados através de cenários controlados criados em laboratório:

- **Configuração da simulação: são simuladas** fugas de gás de baixa e alta intensidade no interior de uma câmara controlada, para observar as reações dos sensores em tempo real.
- **Tempo de resposta (T90):** os alunos medem o tempo "T90", ou seja, o tempo necessário para o sensor atingir 90% do valor final estabilizado após a exposição ao gás, um parâmetro essencial para os sistemas de alerta precoce.
- **Algoritmo IAQ e gráficos sobre a poluição:** monitorização da forma como as alterações na resistência ao gás e na humidade se traduzem em sinais digitais e de como são ativados limiares de alarme específicos (por exemplo, limite inferior de



alarme LAL).

Parte 3: Riscos de uma calibração inadequada

Exploração dos perigos operacionais associados a uma calibração incorreta ou negligenciada:

- **Perigo de deriva negativa: análise** do risco de envenenamento caso um sensor não consiga detetar o gás existente por ter sido colocado a zero de forma inadequada ou por ter perdido sensibilidade.
- **Falsos alarmes e "fadiga de alarmes": análise** da forma como os sensores que são ativados em ar limpo devido a uma calibração inadequada levam o pessoal a ignorar os sinais de perigo reais.

Questões orientadoras / Discussão em sala de aula:

- Porque é que pode continuar a existir uma acumulação letal de gases no fundo de um reservatório confinado, mesmo que os sensores noutras partes da estrutura indiquem níveis de "ar limpo"?
- De que modo um processo de calibração deficiente ou incompleto cria uma "falsa sensação de segurança" durante as inspeções no terreno?
- Qual das três ameaças (acumulação de gases, deriva dos sensores ou dificuldade de acesso) é a mais difícil de detetar sem uma solução tecnológica como um drone?

Leitura breve / Infografia:

O efeito de "colapso invisível": como os gases mais pesados do que o ar se acumulam nas secções inferiores dos tanques de tratamento, criando bolsas letais e indetetáveis.

Atividade de trabalho em grupo:

Pequenos grupos analisam as fotografias dos estudos de caso e os dados dos sensores para identificar qual "ameaça" é responsável por um potencial risco de acidente e determinar as coordenadas exatas nas quais o drone deverá pairar para a inspeção.

Fase 3 – Aplicação (Prática)

Atividade prática:

Fase 3: Voo de amostragem tridimensional do ar (aplicação no terreno e protocolos operacionais)

Parte 1: Preparação pré-voo e protocolos de segurança

- **Coordenar a seleção e o planeamento da missão: predefinir** os pontos de alto risco no mapa de riscos da instalação, como tanques de sedimentação, salas de válvulas e entradas de águas residuais, onde é mais provável ocorrer a acumulação de gás.
- **Avaliação ambiental: avaliação** dos fatores que influenciam diretamente a segurança do voo, como a velocidade do vento, a temperatura e a intensidade do sinal GPS.
- **Integração do sensor: garantir** que o sensor calibrado está firmemente montado no drone e verificar se todas as unidades de transmissão de dados funcionam corretamente.

Parte 2: Execução operacional e lógica de "voo estacionário"

- **A regra do voo estacionário de 30 segundos (registo de dados):** manter uma posição estável em cada coordenada durante 30 segundos para permitir que o sensor atinja o seu tempo de resposta completo (90) e garantir a captação de uma



concentração média de gás estável e precisa.

- **Gestão da altitude: realização** de medições a diferentes alturas com base na densidade dos gases monitorizados.
- **Registo sincronizado de dados: registo simultâneo** das coordenadas GPS com carimbo de data e hora e dos valores de concentração do gás (ppm) durante o voo, para criar um conjunto de dados fiável.

Parte3: Gestão dos riscos no terreno

- **Navegação em torno de obstáculos físicos: garantir** a segurança do voo durante as manobras na proximidade de condutas, linhas de alta tensão ou sistemas de gruas móveis no interior da instalação.
- **Perda de sinal e protocolos de emergência:** implementação de controlos manuais ou protocolos "Return to Home" (RTH) em caso de perda do sinal GPS em áreas confinadas ou profundas da instalação.

Fase 4 – Reflexão e consolidação (Apresentar e relacionar)

Fase 4: Mapeamento da poluição e planeamento dos equipamentos de proteção (mapeamento do risco com folhas de cálculo Excel/Google)

Descrição:

Esta fase prevê o tratamento de dados brutos recolhidos no terreno num ambiente digital, para criar o "Mapa crítico da poluição" da instalação e preparar recomendações técnicas relativas aos tipos de máscaras ideais e aos caudais de ventilação.

Parte 1: Transferência de dados e conversão do formato

- **Descarregamento de dados:** transferência de ficheiros com carimbo de data e hora em formato .csv ou .txt da memória interna do drone ou de um registador de dados especializado para um computador.
- **Limpeza dos dados:** filtragem do conjunto de dados para remover o ruído dos períodos de descolagem, aterragem e trânsito, concentrando-se exclusivamente nas janelas de "voo estacionário" de 30 segundos em cada coordenada designada.
- **Sincronização espacial: garantir** que cada leitura da concentração do gás (ppm) é associada com precisão à coordenada GPS correspondente (latitude/longitude), para manter a integridade espacial.

Parte 2: Análise dos dados em Excel/Folhas de cálculo Google

- **Definição dos limiares críticos: integração** de normas de segurança industrial (como os limites de H₂S) na folha de cálculo, para estabelecer os níveis de "Seguro", "Aviso" e "Perigo".
- **Formatação condicional: utilização** de regras automatizadas para realçar as células: vermelho para concentrações superiores aos limiares críticos de segurança, amarelo/laranja para níveis moderados que exigem monitorização e verde para zonas seguras.
- **Análise estatística (média vs. pico):** cálculo da concentração média em cada intervalo de 30 segundos para filtrar as flutuações temporárias, identificando simultaneamente o "valor de pico" para localizar a fonte exata de uma fuga.

Parte 3: Visualização e elaboração de relatórios

- **Geração de mapas de risco:** criação de mapas de calor ou gráficos de distribuição



sobrepostos à planta da instalação, para fornecer uma representação visual da densidade e do movimento do gás.

- **Deteção de anomalias: formar os** alunos para distinguirem entre fugas de gás reais e anomalias técnicas, como a apresentação de valores constantes pelos sensores ou picos de interferência.
- **Resultados do apoio à decisão:** finalização dos relatórios que identificam as "zonas vermelhas" para desencadear ações administrativas imediatas, como manutenção de emergência, aumento da ventilação ou acesso limitado do pessoal (incluindo ostipos de máscaras ideais).

Atividade de reflexão/Perguntas orientadoras:

- O que aprendeste sobre o processo técnico de recolha de dados relativos à concentração de gás em instalações de tratamento, utilizando a tecnologia dos drones?
- De que modo pilotar um drone com uma carga útil integrada de sensores sensíveis influenciou a tomada de decisões operacionais e a abordagem à segurança do voo?
- Por que razão a regra do "voo estacionário" de 30 segundos e o processo de registo dos dados são tão cruciais para a exatidão dos resultados finais?
- Qual é o papel fundamental de um planeamento meticuloso, da calibração dos sensores e do trabalho em equipa na deteção bem-sucedida dos "perigos invisíveis" (fugas de gás) durante o trabalho de campo?
- Com base nos dados analisados no Excel, que conclusões podes retirar sobre os riscos para a saúde do pessoal e as decisões de gestão segura dentro da instalação de tratamento?

11. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO (foco nas poeiras industriais e nas emissões)

Questionário sobre emissões industriais e tecnologia de sensores: os questionários são aplicados para avaliar os conhecimentos técnicos dos alunos relativamente aos riscos de fugas de biogás e de poeiras (partículas finas) geradas durante o tratamento de resíduos sólidos. As perguntas fechadas avaliam a forma como o sensor BME680 calcula o índice de qualidade do ar (IAQ) utilizando os dados relativos à resistência aos gases e à humidade, enquanto as perguntas abertas solicitam aos alunos que analisem o impacto do comportamento das partículas de poeira em suspensão a diferentes alturas na segurança da instalação.

Identificação de anomalias nas emissões de poeiras e gases: os alunos são avaliados com base na sua capacidade para identificar potenciais fontes de emissão dentro da instalação e leituras incorretas nos registos de dados. A avaliação inclui a análise das imagens de campo provenientes de áreas com elevada acumulação de poeiras e a marcação exata destes dados no Excel com base em limiares críticos (utilizando códigos de cores vermelho/amarelo).

Autoavaliação da qualidade do ar e da utilização da tecnologia: os alunos preenchem listas de verificação de autoavaliação para avaliar as suas competências práticas na calibração do módulo IAQ e na categorização dos dados relativos à qualidade do ar. O processo de reflexão centra-se nos desafios técnicos encontrados no desenvolvimento de



estratégias de supressão e filtragem de poeiras dentro da instalação.

Mapeamento das emissões e revisão pelos pares: durante as atividades de grupo, os alunos utilizam protocolos de revisão pelos pares para avaliar a exatidão do "Mapa crítico da poluição" gerado, as precauções de segurança no planeamento do voo dos drones e a coerência técnica dos caudais de ventilação propostos.

"Mapa crítico da poluição" e portefólios estratégicos: cada grupo prepara um portefólio didático que contém tabelas de dados tridimensionais de amostragem do ar recolhidos pelo drone, notas estratégicas para a supressão de poeiras e recomendações sobre os tipos de máscaras ideais. Este portefólio demonstra a transformação da análise teórica do risco num "Mapa crítico da poluição" prático.

Dados do drone e documentação do campo visual: a avaliação inclui a qualidade das imagens das emissões de poeiras captadas pelo drone e o seu alinhamento com os dados analisados. Os alunos são avaliados com base na execução de voos seguros (a regra do voo estacionário de 30 segundos), na seleção adequada da altitude e na sua capacidade para interpretar os dados visuais para fundamentar as decisões relativas ao caudal de ventilação.



12. MATERIAIS DIDÁTICOS

1-

Recursos	Ligação
1. Manual_V4 do DJI Mini 4 Pro com telecomando DJI RC 2	https://docs.google.com/document/d/1fFIacOnKl3LNpETiJVGHhQkoenCvt5ct/edit?usp=drive_link&ouid=110204741178376447896&rtpof=true&sd=true
2.2.1.Introdução ao NodeMCU	https://docs.google.com/document/d/1kQgIg533Jtssm3LG2PeQFb5h1b1OKwSLQl-dx8GvcHM/edit?usp=drive_link
2.2.2.Módulos de deteção ambiental	https://docs.google.com/document/d/1TaEKu4fmXjR0nPVU_rB5BKxXWu_I-oj9cHaotPzbTBc/edit?usp=drive_link
2.2.3 Aquisição e registo de dados e operações de campo	https://docs.google.com/document/d/19S4BqSk_Rdi75qzwWkpkeVnbt9otIEB-O9kfYv9Ww/edit?usp=drive_link

2- Kit FLIGHT utilizado (componentes do drone personalizado):

- BME680 – Temperatura, humidade, pressão, VOCs
- Sensor laser PM2.5 – Partículas em suspensão
- Sensor de gás MQ7 – Deteção de CO
- GUVVA-S12SD – Intensidade UV

