

## APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PBL EM PROJETO DE MONITORAMENTO INDUSTRIAL DA ÁGUA

**Waldemar Bonventi Jr.**

waldemar.junior@Fatec.sp.gov.br

Fatec Sorocaba - Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales – Sorocaba SP

### Resumo

Apresenta-se uma proposta de Metodologia Ativa utilizando PBL para o ensino tecnológico prático, na disciplina “CAE – Fluidos e Energia” do 4º período do curso de Manufatura Avançada da Fatec de Sorocaba. O objetivo foi projetar e desenvolver um protótipo de baixo custo em baixa escala que controle e monitore o consumo de água simulando uma instalação industrial, utilizando componentes de microeletrônica (plataforma Arduino, bomba de aquário, sensor de fluxo e módulo de transmissão WiFi). A construção foi feita pelo professor e transmitida pela plataforma Teams com câmeras estrategicamente posicionadas. Conclui-se que a abordagem realizada foi factível e que os objetivos ensejados na aplicação do PBL foram alcançados, mesmo com a impossibilidade de utilizar laboratório, o aproveitamento dos estudantes foi muito satisfatório.

Palavras-chave: Problem Based Learning; Controle e Monitoramento Industrial da Água; Desenvolvimento de Protótipo

### Introdução

Um dos requisitos muito discutidos atualmente é a inserção do estudante como ente ativo no aprendizado. Neste contexto, têm sido propostas as Metodologias Ativas de Ensino-Aprendizagem, em que uma das mais discutidas é a Problem Based Learning – PBL (LEAL, MIRANDA, CASANOVA, 2017). O período em que o estudante se gradua em Tecnologia é uma grande oportunidade para praticar esse processo de percepção de problemas, proposta e implementação de soluções, mediado pelo professor, cujo papel no ambiente ensino-aprendizado se torna mais importante.

Neste trabalho aqui apresenta-se uma proposta de Metodologia Ativa utilizando PBL com o desenvolvimento de um protótipo em escala reduzida para monitoramento do consumo de água. Tal proposta se mostra muito pertinente no momento, sobretudo com o sancionamento do projeto de lei sobre o Marco Legal do Saneamento Básico (BRASIL, 2020) no qual a iniciativa privada participará na prestação de serviços de saneamento. É crucial a responsabilidade das empresas, notadamente as indústrias, que têm na água um dos insumos essenciais para o desenvolvimento dos seus processos produtivos. Em um estudo de caso recente, houve a redução de até 70% do consumo de água em um processo que a deixa contaminada com metais (FAUSTINO, 2016). Assim, a educação tecnológica permeia não apenas o domínio das habilidades exigidas para o futuro tecnólogo, mas também as questões de sustentabilidade ambiental.

### Objetivo da aula e competência desenvolvida

Na disciplina “CAE – Fluidos e Energia” do 4º período do curso de Manufatura Avançada na Fatec Sorocaba, além do domínio técnico dos conceitos de Mecânica dos Fluidos, pensou-se em um projeto que integrou conhecimentos prévios abordados nos períodos anteriores do curso

com a questão do monitoramento e controle do uso da água, mostrado na seção a seguir. No desenvolvimento deste projeto, procurou-se colocar o problema, indicar soluções e discutir as tecnologias envolvidas bem como sua implementação, sob a ótica do PBL.

Aqui relatamos um conjunto de aulas que se estendeu por todo o semestre, uma vez que se trata do desenvolvimento de um projeto aplicando metodologia PBL, com o objetivo de resolver um problema no contexto do curso.

Os objetivos de aprendizagem pretendidos são:

- delinear um problema;
- discutir e propor soluções;
- delinear os métodos para solucionar o problema;
- documentar as etapas da solução encontrada;
- discutir variantes da solução;
- contextualizar o problema e a solução em uma escala maior, ou seja, a partir da solução encontrada e desenvolvida na escala do laboratório (protótipo), conseguir compreender a solução em escala industrial.

### Metodologia ativa utilizada e sua justificativa

São apresentados os procedimentos metodológicos de aplicação do PBL e do desenvolvimento do protótipo.

### Aplicação do PBL

Fase 1. Apresentação do problema. “Como propor um sistema de controle de bombeamento de água, monitorando seu consumo?”. Foi apresentada aos estudantes a contextualização de um ambiente industrial, ressaltando que a água é um insumo para alguns processos industriais e o controle do seu uso também é uma questão muito importante. Foi apresentado o exemplo de um processo industrial que utiliza grandes quantidades de água (FAUSTINO, 2016) e a discussão do seu reaproveitamento.

Fase 2. Análise do problema com conhecimentos prévios. A turma foi dividida em equipes, para que cada uma pudesse desenvolver o protótipo com particularidades próprias. Após uma discussão preliminar, as equipes decidiram as tecnologias necessárias para a construção de um protótipo de baixo custo e pequena escala. O protótipo foi constituído de:

a. Bomba de pequeno porte, usada em aquário. Poderiam ser utilizados tanto os modelos de corrente alternada, ligando diretamente em uma tomada 110V quanto os de corrente contínua de baixa tensão (6V, 9V, 12V) Esta discussão incluiu os conhecimentos da disciplina Máquinas e Acionamentos Elétricos do mesmo 4º período.

b. Sistema de controle de velocidade da bomba. Utilizando eletrônica portátil e a plataforma Arduino, a partir dos conhecimentos obtidos nas disciplinas Lógica de Programação para Arduino (1º período) e Instrumentação e Medidas Elétricas (2º período).

c. Sistema de envio de dados monitorados por comunicação sem fio. Envolveu os conhecimentos abordados nas disciplinas Internet das Coisas (3º período) e Nuvem (mesmo 4º período).

Fase 3. Fontes de pesquisa. Utilizando principalmente a Internet, os estudantes elencaram os dispositivos compatíveis com a plataforma Arduino e com o porte da bomba escolhida que atendem os requisitos do projeto discutidos na fase anterior. Foram obtidos exemplos de aplicação de cada um deles, descrição técnica (datasheets), custos de aquisição e ferramentas necessárias para a montagem do protótipo, incluindo software para a programação do sistema de controle. Propostas de projetos foram discutidas e apresentadas pelas equipes de estudantes.

Fase 4. Discussão. Com as aulas teóricas da disciplina de fluidos, discutiu-se o que se espera deste sistema, como: quais as capacidades deste protótipo (porte)? Quais as grandezas envolvidas e unidades de medida empregadas? Foi aplicada uma avaliação teórica conceitual individual à turma sobre estes conceitos.

Fase 5. Implementação. Foi obtido um consenso de que o projeto deveria ser desenvolvido em três etapas:

1. Sistema de controle de velocidade da bomba, incluindo a eletrônica envolvida e a programação do microcontrolador.

2. Interligação com os reservatórios e dutos de água, incluindo os sensores de pressão e vazão e a leitura dos dados dos sensores.

3. Inclusão dos sistemas de coleta e transmissão de dados, a partir dos sensores e inclusão dos dispositivos de transmissão sem fio. Dentre as tecnologias discutidas – Bluetooth e WiFi – decidiu-se por esta última para facilitar a integração com os sistemas de Redes de Computadores existentes em uma planta industrial.

A vantagem de dividir o desenvolvimento em etapas possibilitou que as equipes pudessem adquirir o material (conforme já citado, de baixo custo) de forma gradativa, o suficiente apenas para concluir uma etapa, antes de adquirir os materiais necessários à etapa seguinte.

Foram apresentados, pelas equipes, os esboços do projeto na forma de esquemas. Um dos grupos apresentou inclusive um esboço à mão livre, o qual o professor decidiu considerar, pois apresentava solução válida. Na Figura 1, o esboço aprimorado pelo professor e transmitido pelo Teams. Em seguida, como devolutiva, foi solicitado às equipes que utilizassem um software para projetos eletrônicos, sendo utilizados o TinkerCad (2020) e o Fritzing (2020). Embora cada equipe produzisse o seu próprio layout, a Figura 2 mostra o esquema do projeto elaborado no programa Fritzing.

## Materiais utilizados e execução do projeto

Devido à pandemia Covid-19, os trabalhos de implementação que seriam realizados em laboratório, foram transferidos para a plataforma virtual Teams. As fases do projeto foram discutidas em aula virtual e a implementação foi feita apenas pelo professor e transmitida via webcam. As equipes chegaram a selecionar os componentes e realizar cotações de preço.

### Etapas 1. Sistema de controle de velocidade da bomba

Escolheu-se um projeto baseado em controle por pulsos modulados pela largura (PWM) que são gerados por uma porta digital do Arduino (QUETE, 2014). Como a potência requerida pela bomba incorria no risco de queima do Arduino, optou-se por um transistor TIP122 de

multiplicação de potência, a qual era enviada para a bomba diretamente de uma fonte de saída 12 V / 500 mA, conectada à tomada de 110 V, de modo proporcional à corrente enviada à base do transistor. O esquema eletrônico da etapa 1 pode ser observado na Figura 3.

Figura 1 - esboço do projeto como discutido em aula

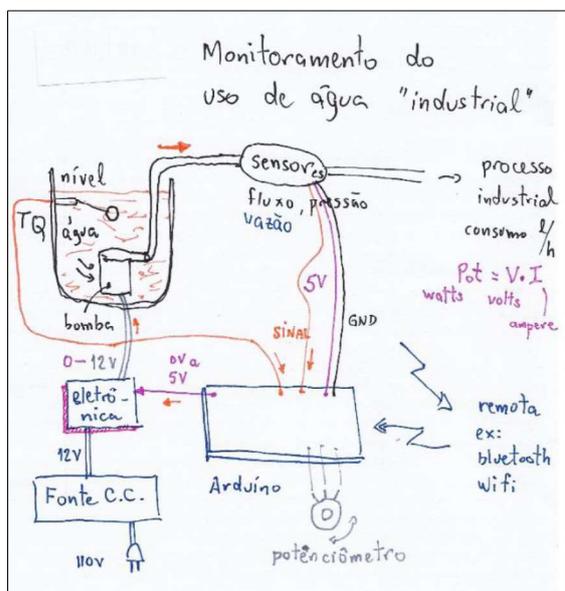


Figura 2 - esquema do projeto no Fritzing

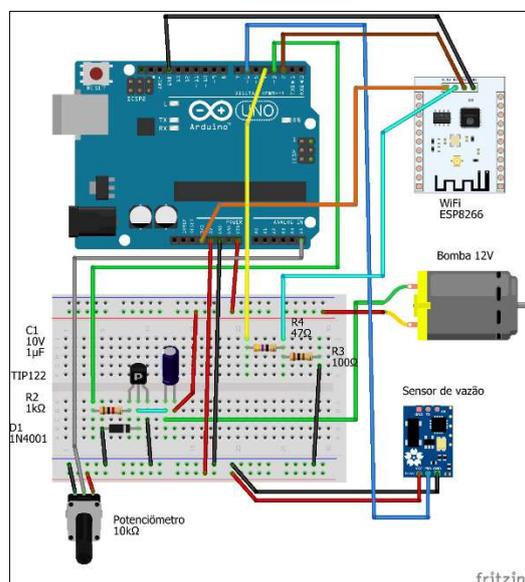
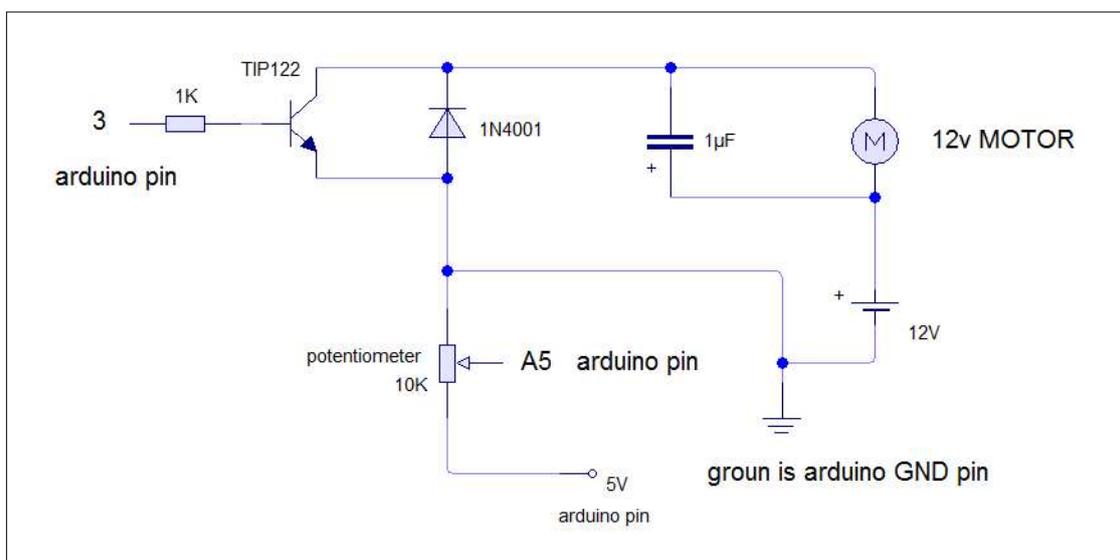


Figura 3 - esquema elétrico do controle do motor da bomba



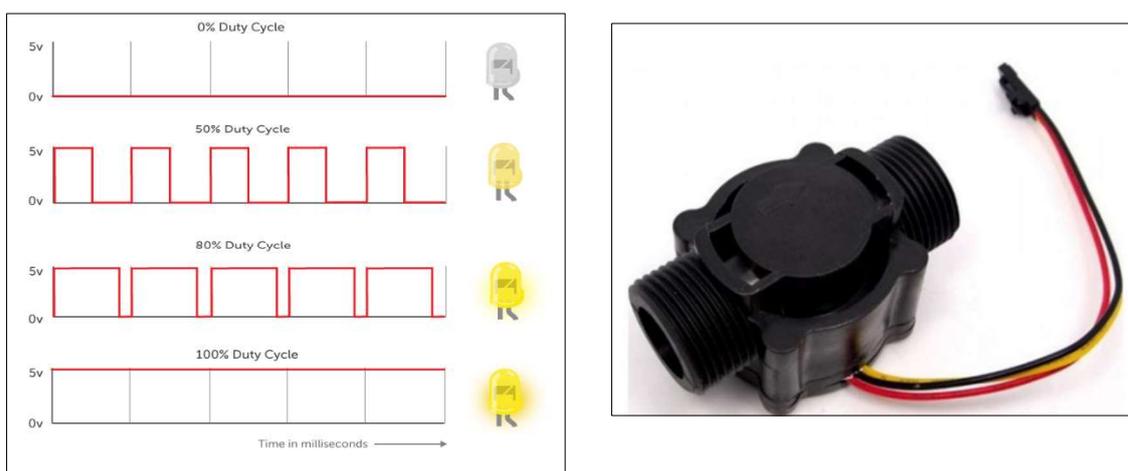
Fonte: [https://www.taringa.net/+hazlo\\_tu\\_mismo/arduino-motor-de-12v-con-control-de-velocidad\\_ibf6h](https://www.taringa.net/+hazlo_tu_mismo/arduino-motor-de-12v-con-control-de-velocidad_ibf6h)

Outra intervenção realizada pelo professor, uma vez que não foi possível o trabalho laboratorial em equipe, foi providenciar figuras dos componentes eletrônicos utilizados. Nesta fase, algumas aulas expositivas foram necessárias para que os estudantes pudessem construir uma conexão mental entre o mundo real dos componentes e suas ligações com o esquema eletrônico apresentado na Figura 3, assim como os componentes utilizados. Ainda foi necessária uma aula expositiva para explicar o processo de controle da bomba por sinal PWM (Pulse Width Modulation) (Figura 4).

## Etapa 2. Sensoriamento do fluxo (vazão) e potência da bomba

Após algumas pesquisas realizadas pelos estudantes dentre os diversos tipos de sensores para aplicação em protótipos de pequeno porte, o sensor de fluxo mais indicado foi o de conexão 1/2" (Figura 5), simples de instalar. Seus três fios apresentam as funções de aterramento (preto), alimentação 5V (vermelho) e envio de sinal (amarelo).

Figura 4 - ilustração didática do sinal PWM Figura 5 - sensor de fluxo (vazão) de 1/2"



Fonte: <https://www.pubnub.com/wp-content/uploads/2015/07/pwm1.png>

O sensor de corrente é inserido no caminho elétrico entre a saída do transistor de controle TIP122 e a bomba, no esquema da Figura 3 entre o diodo e o capacitor. Tal sensor também funciona com três fios de uma maneira similar ao de fluxo. A potência P neste caso é calculada pela expressão (1):

$$P = V \cdot (\text{duty\_cicle}) \cdot I(1)$$

em que  $V = 12 \text{ V}$  é a tensão fornecida pela fonte, duty cicle (0 – 100%) é a largura do pulso PWM, controlada pelo potenciômetro e fornecida pelo transistor e  $I$  é a corrente medida pelo sensor.

## Etapa 3. Transmissão sem fio

A fim de simular melhor um ambiente industrial, dentre as tecnologias de transmissão bem acessíveis, Bluetooth e WiFi, foi escolhida esta, a fim de realizar a integração com computadores e a Internet. O módulo escolhido para a transmissão sem fio foi o ESP8266, cujas conexões estão esquematizadas na Figura 2. O projeto de instalação, programação e transmissão dos dados foi baseado em Oliveira (2019), com algumas modificações e simplificações propostas pelo professor, a fim de minimizar custos e manter a funcionalidade.

## Avaliação da aprendizagem

As avaliações foram realizadas em duas dimensões:

- individual, sobre os conceitos de fluidos e sistemas elétricos;
- em grupo, com o desenvolvimento do projeto pelas equipes.

A primeira dimensão foi avaliada por meio de um questionário de múltipla escolha utilizando a ferramenta Forms e entrega do esquema elétrico no TinkerCad ou Fritzing. A segunda foi por meio de fotos ou vídeos, porém nem todos conseguiram finalizar.

## Resultados

Nesta seção são apresentados os ganhos de aprendizagem obtidos em cada etapa do projeto.

Resultados da avaliação teórica realizada na Fase 4 do PBL (acima). Aplicando-se 10 questões de múltipla escolha (V ou F), por meio da ferramenta Forms acoplada à plataforma Teams, a turma de 15 estudantes obteve nota média 7,8 com desvio padrão 0,9.

Etapa 1. Toda a montagem foi realizada passo-a-passo sendo filmada com uma webcam e cada componente teve sua função descrita na aula. Na Figura 6 o programa feito para execução no microcontrolador do Arduino e na Figura 7 um instantâneo da transmissão realizada via Microsoft Teams, demonstrando a conclusão desta etapa.

Etapa 2. A instalação do sensor de fluxo foi feita utilizando-se adaptadores para purificadores de água e mangueiras transparentes de 6 mm de diâmetro. O sensor de fluxo foi posicionado conforme o esquema esboçado na Figura 1. Na Figura 8 observa-se o funcionamento do sistema com o monitoramento da vazão de água no recipiente, exibido em um terminal de dados do Arduino e transmitido em aula usando o Microsoft Teams. A medida da potência consumida pela bomba seria feita por um sensor de corrente posicionado no protótipo conforme esboçado na parte central da Figura 1. No entanto, devido à proximidade do final do semestre letivo, esta medida não foi realizada pelo professor (que seria mostrada à distância, como nas etapas anteriores). Sendo assim, em consenso com a turma, foi decidido discutir a Etapa 3 do projeto, a transmissão dos dados coletados por um módulo sem fio.

Etapa 3. A implementação da comunicação de dados foi realizada por meio de transmissão sem fio utilizando a tecnologia Bluetooth. Para isto, foi acrescentada uma plaquinha de transmissão que foi conectada com fios ao Arduino para receber os dados gerados pelo sensor de fluxo e enviar a um smartphone à distância.

No entanto, para possibilitar que os estudantes implementassem por conta própria a transmissão de dados de fluxo da água, foram demonstradas em aula a configuração e programação da placa Bluetooth para receber e transmitir outros tipos de dados. O professor montou outro sistema contendo um sensor de temperatura e outro de luminosidade, acrescentando um led para sinalizar um evento (luminosidade insuficiente). Esta aparente divergência do projeto final teve dois propósitos:

- deixar os estudantes implementarem a etapa 3 por conta própria;
- mostrar outras possibilidades de sensoriamento de equipamentos industriais e monitoramento à distância, por isso a escolha dos sensores citados.

Figura 6 - programação do controle do motor Figura 7 - controle de velocidade da bomba

```
File Edit Sketch Tools Help
TIP122_12VCC $
int pot=5;
int motor=3;

void setup()
{
  pinMode(pot,INPUT);
}

void loop()
{
  int value = analogRead(pot);
  analogWrite(motor, value/4);
}
```

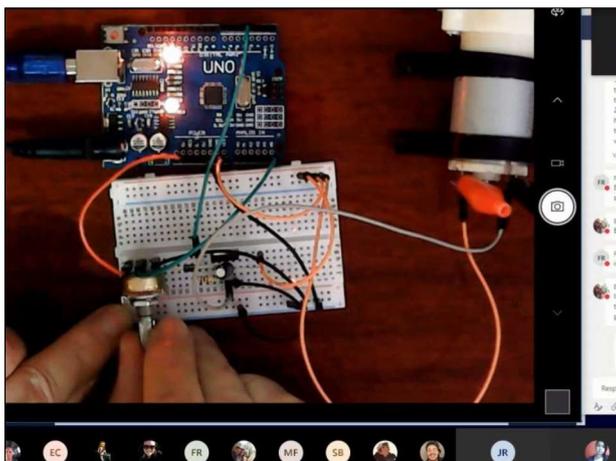
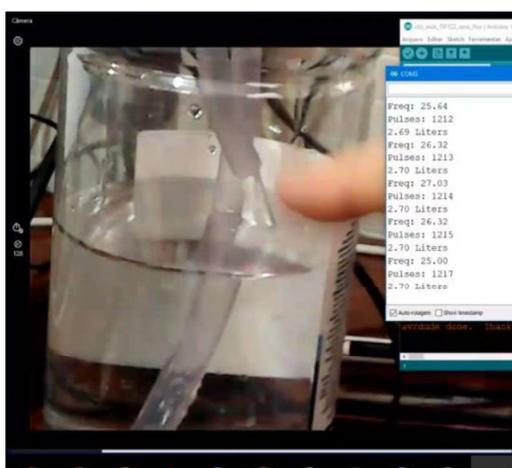


Figura 8 - sistema em funcionamento

Figura 9 - programação da comunicação de dados



```
Arquivo Editor Sketch Ferramentas Ajuda
Led_Jermy_Bum
33
34 void setup() {
35
36 // SEÇÃO DE COMUNICAÇÃO
37 // define a velocidade de comunicação nos dois canais
38 Serial.begin(9600); // Serial = comm via USB do PC
39 // bluetooth.begin(BLUETOOTH_BAUD_RATE); // comm c/ bluet
40 bluetooth.begin(9600);
41
42 // INICIA E TESTA O LED
43 // Onboard LED pin as output
44 pinMode(PINLED, OUTPUT); // The initial state of led is d
45 // HIGH on PIN will switch on the LED
46 // LOW on PIN will switch off the LED
47 digitalWrite(PINLED, HIGH); // high = bit 1 acende
48 delay(2000); // pausa 2000 ms = 2 s
49 digitalWrite(PINLED, LOW); // low = bit 0 apaga
50
51 // fim setup
```

Na Figura 10 a implementação citada. No smartphone foi instalado o programa Serial Bluetooth, disponível gratuitamente na plataforma Android para receber os dados. Nesta mesma figura, observa-se o smartphone (à esquerda) recebendo os mesmos dados mostrados no monitor serial existente no ambiente de programação do Arduino (à direita).

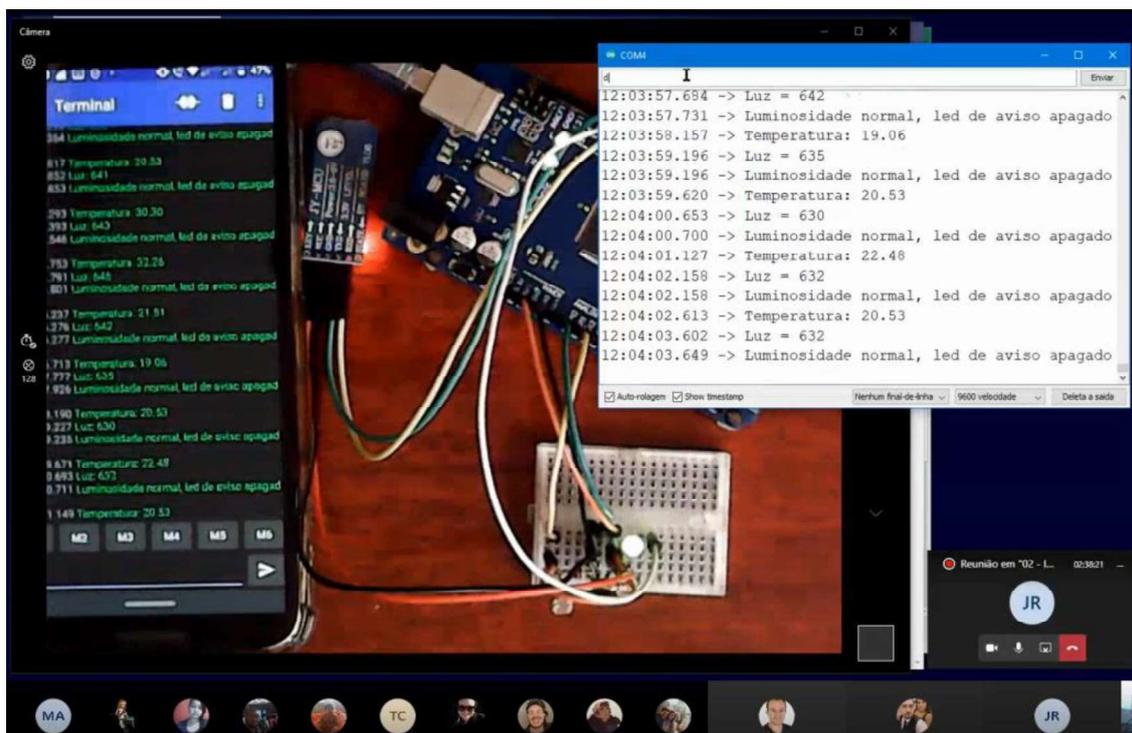
Com isto, nesta disciplina ao longo do semestre, foi possível agregar conceitos de outras disciplinas, como sistemas elétricos, programação de sistemas, mecânica dos fluidos e comunicação industrial, além do aprendizado propiciado pelo problema proposto, monitorar o consumo de água.

### Dificuldades encontradas

Embora os estudantes tenham demonstrado grande interesse em participar do projeto no formato de aulas remotas, houve dificuldades em acompanhar e reproduzir alguns detalhes simples da implementação, que normalmente são resolvidos em laboratório diante do professor ou técnico instrutor (auxiliar docente).

Outra dificuldade foi devida à compra dos dispositivos pelas equipes, uma vez que não havia o laboratório físico com as ferramentas necessárias.

Figura 10 - dados sendo enviados ao smartphone



## Considerações Finais

Ainda que os estudantes não estivessem juntos fisicamente, o uso da plataforma Teams possibilitou o constante contato entre os integrantes de cada equipe. A turma mostrou-se bem madura e proativa, facilitando o trabalho de intermediação do professor. Os estudantes, embora estivessem no mesmo período do curso, tinham níveis de conhecimento e vivência diferenciados, mas isso estimulou bastante as discussões e a troca de conhecimentos. Foi percebida uma intensa socialização que estimulou também os mais tímidos. Os benefícios do trabalho em equipe com o entrosamento requerido ficaram bem evidentes. O professor também precisou se atualizar, em face aos questionamentos e tecnologias pesquisadas pelos estudantes. Ressaltamos que as soluções apresentadas nas figuras mostradas não foram únicas, com ligeiras variações entre as equipes (exceto a programação, que teve de ser instruída pelo professor, uma vez que os componentes eletrônicos necessitaram tal programação específica).

Entende-se que o resultado mais importante foi a demonstração, por meio de um protótipo, de um ambiente industrial, onde um processo de utilização da água foi controlado e remotamente monitorado. Isso propiciou a integração pesquisa – universidade – empresa, por meio de um problema real trazido à discussão e busca de soluções.

Constatou-se que a evolução da disciplina ao longo do semestre com a metodologia PBL é perfeitamente factível, sendo possível alcançar os resultados esperados. A interrupção das atividades devido à pandemia, com a consequente transição das aulas totalmente presenciais (incluindo laboratório) para aulas virtuais, consumiu um tempo extra para a devida adaptação do professor e dos estudantes à nova plataforma.

Conclui-se que a metodologia PBL se adequa muito bem como instrumento a ser aplicado em disciplina afim de cursos superiores de tecnologia. O projeto proposto visou sua aplicação em um ambiente industrial, por meio do desenvolvimento de um protótipo em menor

escala e de baixo custo. Com isso, foram contornados o problema de custo de implantação de um laboratório equivalente e, principalmente, o distanciamento social a que a pandemia forçou, uma vez que o funcionamento do protótipo foi demonstrado pelo professor com uma webcam portátil, baseado no projeto discutido previamente com os estudantes.

## Agradecimentos

Ao coordenador prof. Ms. Samuel Mendes Franco, do curso de Manufatura Avançada, em que foi possível implementar essas ideias, dando apoio e incentivo e esclarecendo dúvidas aos estudantes sobre a metodologia utilizada.

Aos estudantes que participaram deste projeto, turma do 4º semestre do curso, ao entender o momento que vivemos com a aplicação de uma atividade específica de laboratório transformada em aula remota, em que eles colaboraram adquirindo os dispositivos de baixo custo e reproduziram o protótipo em seus locais onde acompanhavam as aulas.

## Referências

Brasil. Governo Federal. Presidente da República sanciona novo Marco Legal do Saneamento Básico. 2020. Disponível em <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2020/julho/presidente-da-republica-sanciona-novo-marco-legal-do-saneamento-basico>. Acesso em junho de 2020.

FAUSTINO, Diogo Luis. A contribuição do fluxo de valor para a redução de custos e resíduos industriais. 2016. Dissertação (Mestrado Profissional) Processos Tecnológicos e Ambientais, Universidade de Sorocaba, Sorocaba, 2016.

FRITZING: Electronics Made Easy. Disponível em <https://fritzing.org/learning/get-started/>. Acesso em setembro de 2020.

LEAL, E. A.; MIRANDA, G. J.; CASANOVA, S. P. de C. Revolucionando a Sala de Aula: Como Envolver o Estudante Aplicando as Técnicas de Metodologias Ativas de Aprendizagem. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

OLIVEIRA, E. Simplificando a conexão entre o Módulo WiFi ESP8266 ESP-01 e o Arduino. [S. l.]: Master Walker Eletronic Shop, 2019. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/esp8266/simplificando-a-conexao-entre-o-modulo-wifi-esp8266-esp-01-e-o-arduino/>. Acesso em: 17 jun. 2020.

QUETE, N., Arduino – Motor de 12v con Control de Velocidad. 2013. Disponível em [https://www.taringa.net/+hazlo\\_tu\\_mismo/arduino-motor-de-12v-con-control-de-velocidad\\_ibf6h](https://www.taringa.net/+hazlo_tu_mismo/arduino-motor-de-12v-con-control-de-velocidad_ibf6h). Acesso em fevereiro de 2020.

TINKERCAD. From Mind to Design in Minutes. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em setembro de 2020.