



A plataforma *open-source* Arduíno e suas aplicações na engenharia civil para monitoramento de temperatura e umidade

Gláucia Maria Dalfré – glaucia.dalfre@ufscar.br

Departamento de Engenharia Civil (DECIV), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Rodovia Washington Luiz, Km 235
13565-905 – São Carlos – São Paulo

Amanda Duarte Escobal – amandadescobal@hotmail.com

Departamento de Engenharia Civil (DECIV), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Rodovia Washington Luiz, Km 235
13565-905 – São Carlos – São Paulo

André de Souza Tarallo – andre.tarallo@ifsp.edu.br

Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Araraquara
Rua Doutor Aldo Benedito Pierri, 250
14801-600 – Araraquara – São Paulo

Thiago Guarniari Corrêa da Silva – thiagoguarniari@gmail.com

Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Araraquara
Rua Doutor Aldo Benedito Pierri, 250
14801-600 – Araraquara – São Paulo

Rafael Oliveira Ribeiro – rafaeloliveiraribeiro@hotmail.com

Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Araraquara
Rua Doutor Aldo Benedito Pierri, 250
14801-600 – Araraquara – São Paulo

Resumo: Este trabalho apresenta os resultados preliminares obtidos com *dataloggers* baseados em linguagem de programação C/C++ e utilização da plataforma eletrônica de código aberto Arduíno para a aquisição de temperatura e umidade de corpos de prova expostos a intempéries, ciclos de umidade e umidade constante. A escolha desta plataforma *open-source* se deu pela facilidade de utilização, programação e baixo custo, servindo como ferramenta para coleta, em tempo real, das condições de exposição dos corpos de prova por meio de sensores, Shields, ligados a um Arduíno modelo UNO que, por meio de programação, controla e monitora os sensores e transmite seus dados coletados para um cartão de memória. Neste sentido, os resultados relevantes até agora obtidos no desenvolvimento dos *dataloggers* serão apresentados e analisados neste trabalho.

Palavras-chave: Plataforma Arduíno, Engenharia Civil, Temperatura, Umidade.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





1. INTRODUÇÃO

O Arduíno surgiu em 2005 com o objetivo de criar um dispositivo para controlar projetos e protótipos construídos de uma forma mais acessível do que outros sistemas disponíveis no mercado (SILVA *et al.*, 2014). Pretendia-se elaborar um dispositivo que fosse fácil de programar, barato e, ao mesmo tempo funcional, para que, de forma didática, fosse possível ensinar robótica para alunos, visando integrar ainda mais as pessoas à sociedade, em geral, que se mantêm em constante evolução em termos de tecnologia e aprendizado. Além disso, a ideia é baseada no uso hardware livre, ou seja, voltada para que qualquer pessoa pudesse montar, personalizar, modificar e até melhorar os projetos protótipos, partindo dos princípios básicos do Arduíno.

O trabalho de Ferreira e Junior (2015) teve como objetivo principal monitorar parâmetros atmosféricos em ambientes externos visando a construção de uma pequena estação meteorológica com o uso do microcontrolador Arduíno. Este projeto levou, a partir da exposição à variados tipos de ambientes, ao monitoramento de dados tais como altitude, pressão, umidade relativa do ar e temperatura, os quais foram processados e apresentados, de forma visual, em um display externo. Para mensurar os parâmetros citados anteriormente, foram utilizados sensores compatíveis com a plataforma Arduíno. Assim, este projeto serviu como ferramenta de apoio, em tempo real, para a coleta de dados das condições climáticas externas por meio de sensores, *Shields*, ligados a um Arduíno modelo MEGA que, por meio de programação, controlou e monitorou os sensores e transmitiu os dados coletados para um cartão de memória.

O trabalho de Câmara (2016) tem como objetivo geral monitorar a temperatura e umidade de um ambiente utilizando o protocolo *ZigBee* e a plataforma Arduíno. De acordo com a *ZigBee Alliance*, o protocolo *ZigBee* é um padrão sem fio global e aberto, utilizado para que objetos simplificados e inteligentes tenham a capacidade de trabalhar em conjunto, permitindo uma melhor eficiência na vida cotidiana (Câmara, 2016). Neste sentido, fez-se a utilização de sensores, instalados em um drone, para o monitoramento da temperatura e umidade de diferentes ambientes e espaços. Esses dados foram obtidos com o uso dos sensores DHT11 e do DS18B20, associados ao Arduíno e fixados no drone, para que essa coleta de dados pudesse ser capaz de realizar as aferições necessárias nos lugares que são considerados inviáveis ou de difícil complexidade de acesso. Toda a implementação seguiu os padrões e normas do *ZigBee*, conseguindo atender os requisitos do projeto e gerar os resultados esperados.

O trabalho de Melo *et al.* (2017) teve como objetivo a avaliação, de maneira quantitativa, das condições ambientais aís quais os trabalhadores de uma determinada obra, localizada no município de Cajazeiras – PB, estavam expostos. Devido à ausência de equipamentos de medição comerciais para levantamento dos parâmetros climáticos ambientais de trabalho no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus* Cajazeiras, foi desenvolvida uma estação de baixo custo para monitoramento de parâmetros ambientais com a utilização da plataforma Arduíno. A partir da análise dos resultados desta pesquisa melhorias nas condições de trabalho frente as condições climáticas analisadas foram propostas.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Educação e Tecnologia

Promoção



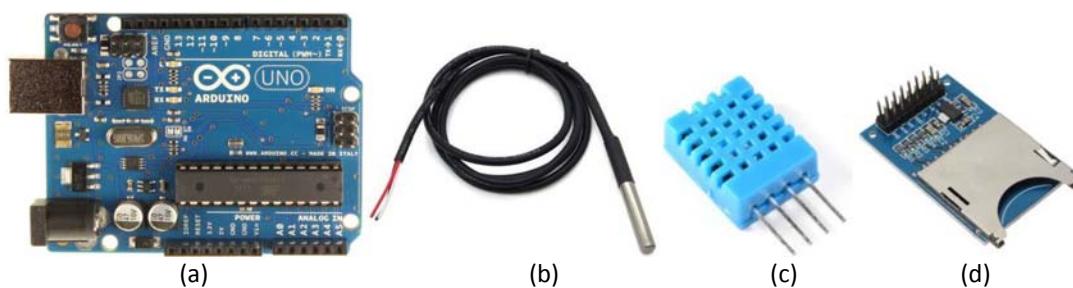
ABENGE
Associação Brasileira de Educação em Engenharia

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo por objetivo a caracterização da degradação de adesivos estruturais utilizados em sistemas de reforço de estruturas de concreto armado, fez-se o desenvolvimento de projetos baseados em linguagem de programação C/C++ e utilização da plataforma eletrônica de código aberto Arduíno para a elaboração de um *datalogger* que possibilite a aquisição de temperatura e umidade de corpos de prova (resina epoxídica e pilares curtos reforçados com materiais compósitos) expostos a intempéries, ciclos de umidade e umidade constante.

Para tal, Arduínos modelo UNO e sensores de temperatura do tipo DS18B20 estão sendo utilizados para a monitorização dos corpos de prova dos tanques de ciclo de umidade ou umidade constante, enquanto sensores (DHT11 ou DHT22) tem realizado a aquisição de temperatura e umidade dos corpos de prova expostos a intempéries. Por fim, a gravação dos dados é feita por meio da utilização de um módulo cartão SD.

Figura 1 - (a) Plataforma de prototipagem eletrônica Arduíno Uno, (b) sensor de temperatura do tipo DS18B20, (c) sensores de temperatura e umidade do tipo DHT11 ou DHT22 e (d) módulo cartão SD



Neste sentido, abaixo são apresentados os passos adotados para a elaboração dos *dataloggers*:

- Revisão bibliográfica, buscando o melhor entendimento da linguagem de programação C/C++ e utilização da plataforma eletrônica de código aberto Arduíno UNO;
- Desenvolvimento de projetos iniciais e montagem de circuitos básicos para treinamento;
- Desenvolvimento de projetos dos *dataloggers* e montagem dos circuitos;
- Calibração dos sensores;
- Instalação em ambientes de exposição pré-definidos (intempéries, umidade constante e ciclo de umidade); e
- Monitorização de temperatura/umidade ao longo do tempo de exposição em ambientes pré-definidos.

2.1. Revisão bibliográfica, melhor entendimento da linguagem de programação C/C++ e utilização da plataforma eletrônica de código aberto Arduíno UNO

Uma linguagem de programação define um meio de comunicação entre as pessoas (desenvolvedores) e o computador. Para a construção de programas, muitas vezes, é necessário adotar um ambiente de programação. O programa escrito em uma linguagem de programação é denominado código-fonte. Um programa, ao ser compilado (transformado para linguagem de máquina), é denominado código executável. É

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção



importante observar que, para obter um código executável, é necessário que o texto do código-fonte não contenha erros de sintaxe (SENNE, 2003).

A plataforma Arduino consiste em uma plataforma *Open-source* baseada em hardware e software para as áreas de automação e robótica. Nela pode-se adicionar diversos tipos de componentes eletrônicos direcionados e programados para uma determinada atividade (MELO *et al.*, 2014). Em sua placa pode ser integrado circuitos de entrada/saída, em que sua conexão pode ser feita com um computador e programada através de uma IDE (*Integrated Development Environment*, ou *Ambiente de Desenvolvimento Integrado*).

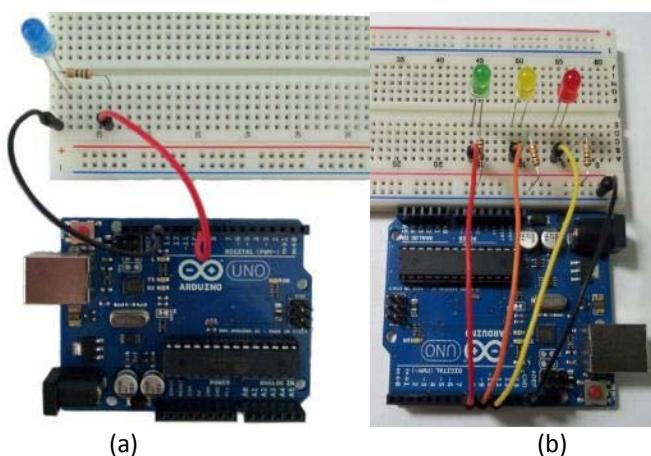
O ambiente de programação do Arduino é chamado de IDE (*Integrated Development Environment*) sendo baseado na linguagem de programação C, a qual foi criada por Dennis Ritchie, em 1972 no centro de pesquisas da Bell. A linguagem C é derivada de outra linguagem: a linguagem B, criada por Ken Thompson. A partir desse momento, a linguagem C tornou-se popular e passou a ser amplamente utilizada, tanto no âmbito acadêmico quanto no âmbito da indústria (SENNE, 2003).

É neste ambiente que se constroem os programas, chamados de *sketches*, os quais irão controlar a placa, os sensores e os atuadores utilizados neste trabalho (SANTOS, 2015).

2.2. Desenvolvimento de projetos iniciais e montagem de circuitos básicos para treinamento

Para este trabalho foi realizada a montagem de circuitos na plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto Arduino do tipo UNO. Para que houvesse aprendizagem e identificação com o sistema Arduino UNO, primeiramente, foram montados alguns circuitos básicos, tais como Pisca Led e Semáforo, os quais são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – (a) Exemplo de projeto Pisca Led e (b) Exemplo de projeto Semáforo
Fonte: (a) <http://www.comofazerascoisas.com.br/projeto-arduino-pisca-led.html> e (b) <http://www.comofazerascoisas.com.br/projeto-arduino-sinal-de-transito.html>



2.3. Desenvolvimento de projetos dos *dataloggers* e montagem dos circuitos

Após entendimento da assemblagem e programação, três circuitos auxiliares, sendo um com o sensor DHT11, outro com o DHT22, e o último com o sensor DS18B20 (Figura 3), foram confeccionados. A Figura 4(a) apresenta um esquema da ligação dos

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Educação e Tecnologia

Promoção



Associação Brasileira de Educação em Engenharia



sensores na plataforma Arduino (Arduino e Cia, 2016), enquanto um exemplo de sensor em funcionamento (EADuino, 2016) é mostrado na Figura 4(b).

Os sensores DHT11 e DHT22 são utilizados para aferição de temperatura e umidade ambiente, sendo o sensor DHT22 por ser uma evolução do DHT11, mais preciso. Tais sensores possuem baixo consumo de corrente (2,5 mA durante medições, e 100-150 μ A em standby) e possuem, internamente, um sensor de umidade capacitivo e um termistor, além de um conversor analógico/digital para comunicação com o microcontrolador. Um resumo com suas principais propriedades é apresentado na Tabela 1.

Pela análise das propriedades acima apresentadas percebe-se que o sensor DHT22 possui intervalo de medições de temperaturas e umidades superior ao DHT11. Entretanto, ele é capaz de medir uma faixa mais ampla de temperatura e umidade e, por este motivo, foi selecionado para este trabalho.

2.4. Calibração dos sensores

Posteriormente, fez-se a calibração dos sensores DHT22 e DS18B20 para utilização neste trabalho. Para isso, leituras de umidade e temperaturas em ambientes externos e internos foram realizadas com o uso do sensor DHT22, os quais foram comparados com as leituras obtidas em termohigrômetro da marca Minipa. A curva de calibração obtida até o momento é apresentada na Figura 5, na qual os dados são registrados em intervalos de 30 minutos pela plataforma Arduino UNO e sensor DHT22. Note-se que mais pontos ainda serão coletados, ao longo do trabalho que vem sendo desenvolvida, visando o aumento da amostragem e posterior recalibração das curvas dos sensores utilizados neste trabalho.

Figura 3 – Circuitos com os sensores (a) DHT22, (b) DHT11 e (c) DS18B20

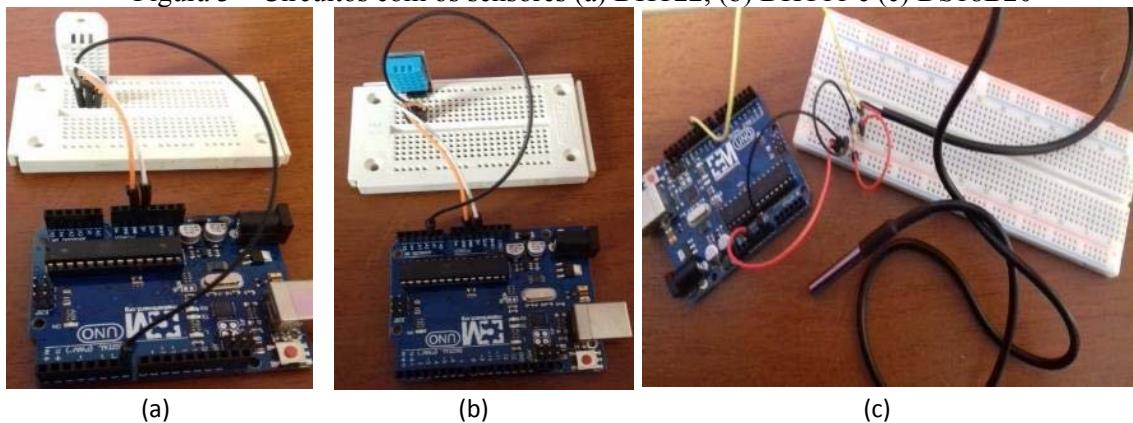
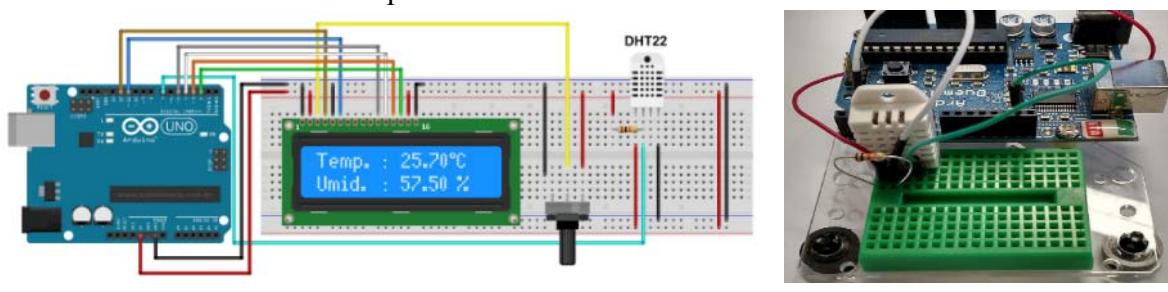


Figura 4 – (a) Esquema da ligação dos sensores na plataforma Arduino e (b) modelo de sensor de temperatura e umidade em funcionamento.



Organização



UDESC
 UNIVERSIDADE
 DO ESTADO DE
 SANTA CATARINA



UNISOCIESC
 Educação e Tecnologia

Promoção





Tabela 1 – Principais propriedades dos sensores DHT11 e DHT22

	DHT11	DHT22
Alimentação (V)	3,0 – 5,5	3,3 – 6,0
Faixa de leitura para Umidade (%)	20-80	0 – 100
Precisão para a Umidade (%)	5	5
Faixa de leitura para Temperatura (°C)	0 - 50	-40 - +125
Precisão para a Temperatura (°C)	± 2	± 0,5
Intervalo para medições (segundos)	1	2

Com relação ao sensor o sensor DS18B20, este é utilizado para aplicações onde é necessária a aferição de temperatura em ambientes úmidos, para controles de climatização de ambientes (tais como controle de temperatura no interior de edifícios), equipamentos ou máquinas e monitoramento e controle de processos. Esses sensores fornecem a temperatura Celsius com resolução programável de 9 a 12 bits, operando numa faixa de -55 °C a +125 °C, com uma acurácia de 0,5 °C na faixa -10 °C a 85 °C, a qual atende plenamente a finalidade deste projeto de IC. Neste sentido, sensores do tipo DS18B20 tem sido utilizado para monitorização de temperatura dos corpos de prova que estão expostos a ciclos de umidade e umidade constante. Para isso, também se realizou sua calibração por meio de leituras de temperatura obtidas em termômetro digital. A curva de calibração obtida até o momento é apresentada na Figura 6.

2.5. Instalação em ambientes de exposição pré-definidos (intempéries, umidade constante e ciclo de umidade)

Após validação, os sensores foram instalados em ambiente externo, exposto às intempéries, de modo a monitorar umidade e temperatura, e em tanques de umidade e ciclos de umidade, para aferição de temperatura da água onde os corpos de prova encontram-se submersos.

Com relação ao ambiente externo, um aparato de acrílico foi construído e serve como suporte para os corpos de prova de resina epoxídica (Figura 7), a qual é utilizado em um sistema de reforço de estruturas de concreto armado com materiais compósitos. Este suporte está instalado sobre uma laje do LABoratório de GEOfenicia (LABGEO) da Universidade Federal de São Carlos, em lugar isento de sombras, e nele foi instalado o sensor do tipo DHT22. Note-se que este suporte possui ângulo de inclinação de 23°, o qual está relacionado ao ângulo de maior incidência dos raios de sol para a cidade de São Carlos/SP.

Corpos de prova de resina epoxídica também estão expostos a ciclos de umidade e umidade constante. Para isso, os corpos de prova foram posicionados em tanques e ficam submersos em água obtida da rede pública de abastecimento até a data de seu ensaio (umidade constante) ou em ciclos de secagem (7 dias) e molhagem (7 dias) até seu ensaio. Nestes tanques fez-se a instalação de sensores do tipo DS18B20, os quais registram a temperatura da água onde os corpos de prova se encontram, tal como apresentado na Figura 8.

Organização



UDESC
 UNIVERSIDADE
 DO ESTADO DE
 SANTA CATARINA



Educação e Tecnologia

Promoção



Associação Brasileira de Educação em Engenharia



Figura 5 – Curvas de calibração dos sensores do tipo DHT22 para (a) temperatura e (b) umidade.

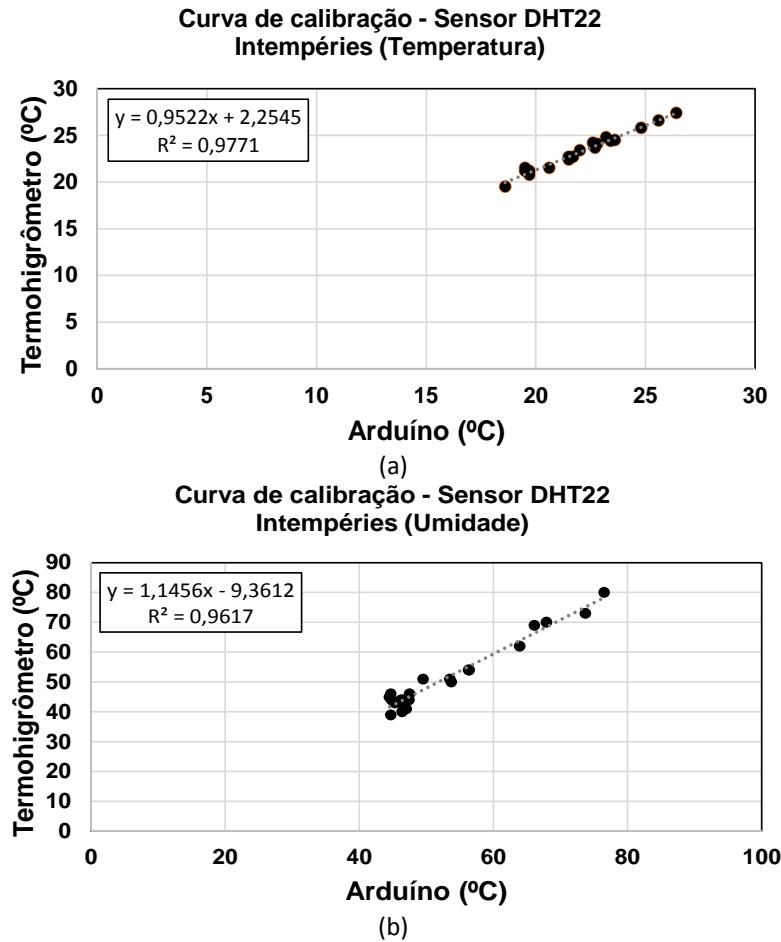
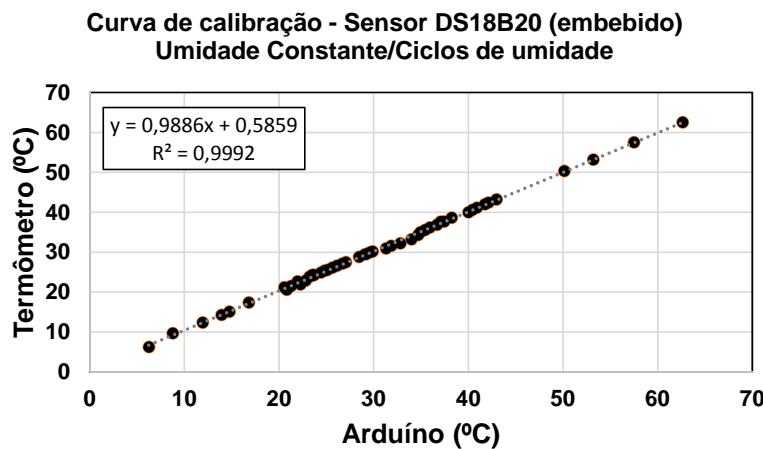


Figura 6 – Curvas de calibração dos sensores do tipo DS18B20 utilizados para aferição de temperatura dos tanques de umidade constante e ciclos de umidade.



Organização



UDESC
 UNIVERSIDADE
 DO ESTADO DE
 SANTA CATARINA



Educação e Tecnologia

Promoção

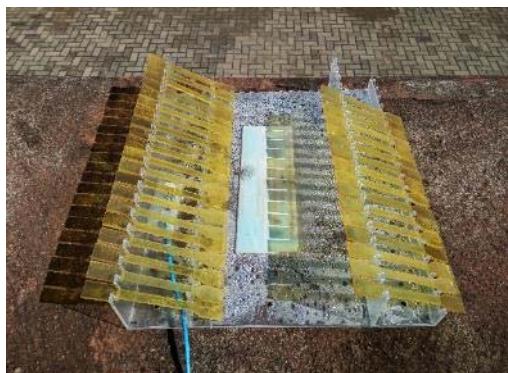




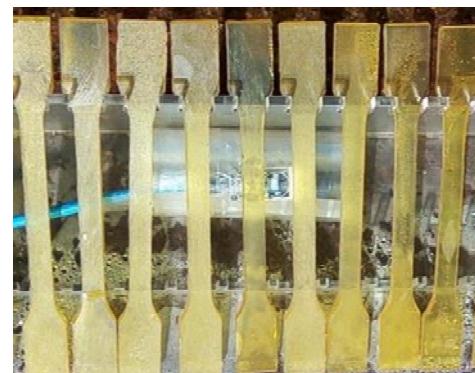
Figura 7 – Localização dos corpos de prova expostos a intempéries e instalação do sensor DHT22 no aparato de suporte dos corpos de prova



(a)



(b)



(c)

Figura 8 – Instalação do sensor no tanque de umidade constante



2.6. Monitorização de temperatura/umidade ao longo do tempo de exposição

A Figura 9 apresenta a monitorização inicial de temperatura e umidade, registradas a cada 30 minutos, pela plataforma Arduino UNO e sensor do tipo DHT22, enquanto a Figura 10 apresenta os dados inicialmente registrados pelo sensor do tipo DS18B20.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção



Figura 9 – Curva umidade (a) e temperatura (b) versus horas de exposição as intempéries dos corpos de prova de resina epoxídica

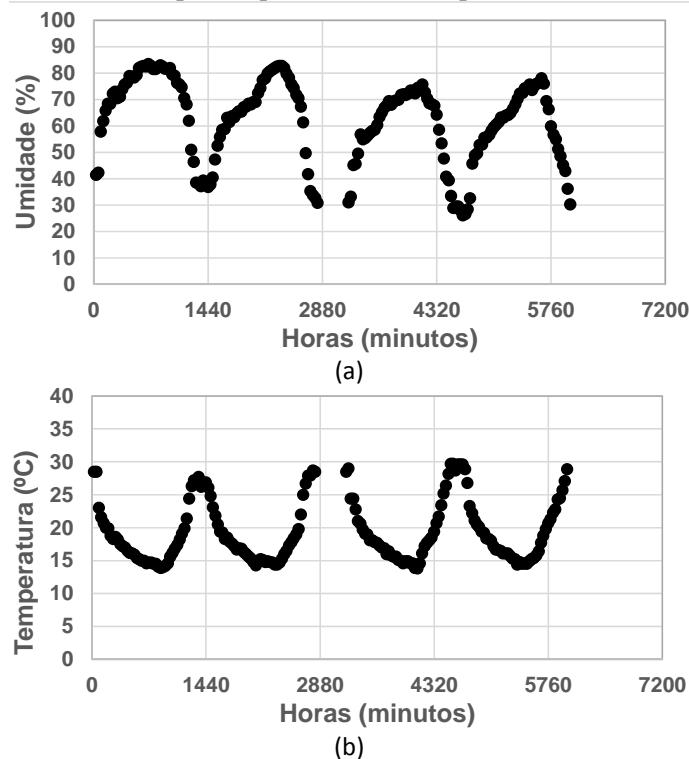


Figura 10 – Curva de temperatura versus horas de exposição em umidade constante dos corpos de prova de resina epoxídica



Pela análise das Figuras 9 e 10 percebe-se que os *dataloggers* desenvolvidos por meio da utilização de linguagem de programação C/C++ e utilização da plataforma eletrônica de código aberto Arduíno podem ser utilizados para a aquisição de temperatura e umidade de corpos de prova expostos a intempéries, ciclos de umidade e umidade constante, tal como o esperado neste trabalho.

3. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou os resultados preliminares obtidos com *dataloggers* baseados em linguagem de programação C/C++ e utilização da plataforma eletrônica de código aberto Arduíno para a aquisição de temperatura e umidade de corpos de prova expostos a intempéries, ciclos de umidade e umidade constante. De acordo com os

Organização



UDESC
 UNIVERSIDADE
 DO ESTADO DE
 SANTA CATARINA

UNISOCIESC
 Educação e Tecnologia

Promoção

ABENGE
 Associação Brasileira de Educação em Engenharia



resultados preliminares apresentados verifica-se a potencialidade da utilização deste sistema para monitorização de estruturas ou ambientes de agressividade ambiental relacionados a Engenharia Civil. Pretende-se, no futuro, que os conhecimentos obtidos no decorrer deste trabalho sejam transferidos aos alunos de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSCar por meio disciplinas optativas voltadas a área de instrumentação de estruturas.

Agradecimentos

A segunda autora vem por meio deste agradecer a FAPESP pelo apoio e bolsa de iniciação cedida (Processo 2016/20025-6), o que tornou possível a elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDUINO E CIA (2016). *Sensores de temperatura e umidade*. Disponível em: <<http://www.arduinoecia.com.br/2015/02/sensor-de-temperatura-e-umidade-dht22.html>>. Acesso em: 24/09/2016.
- CÂMARA, M. L. N. (2016). *Monitoramento de temperatura e umidade de um ambiente utilizando o protocolo ZigBee*. 64p. (TCC), INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE (IFRN).
- EADUINO (2016). *Sensores de temperatura e umidade*. Disponível em: <<http://www.eaduino.com.br/2015/06/sensores-de-temperaturaumidade-dht11-e-dht22/#sthash.tMNz9uTj.dpbs>>. Acesso em: 24/09/2016.
- FERREIRA, E. A.; JUNIOR, M. A. F. (2015). *Aplicação da plataforma Arduino para a determinação de parâmetros atmosféricos e ambientais*. 15º Congresso de Iniciação Científica (CONIC-SEMESP) – Ribeirão Preto – SP (UNAERP).
- MELO, M. C., SILVA, J. L. S., VIANA, E. C; DANTAS, J. R. (2014). *A Plataforma Arduino para fins didáticos: Estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ*. Anais: XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Brasília – DF.
- MELO, R. H. F.; OLIVEIRA, E. B. S.; ANDRADE, H. T. A.; NETO, A. C. W. (2017). *Avaliação das condições ambientais do trabalho em canteiro de obra de uma edificação vertical no Município de Cajazeiras - PB*. Anais: Revista Práxis: saberes da extensão, v. 5, n. 8, p. 89-100, ISSN 2525-5355.
- SANTOS, J. A. (2015). *Instrumentação eletrônica com o Arduino aplicada ao ensino de física*. Mestrado (Dissertação), UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO, 2015.
- SENNE, E. L. F. (2003). *Primeiro Curso de Programação em C*. VisualBooks. Florianópolis.
- SILVA, J. L. S; MELO, M.C.; CAMILO, R. S.; GALINDO, A. L., VIANA, E. C. (2014). *Plataforma Arduino integrado ao PLX-DAQ: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35*. Anais: XIV Escola Regional de Computação Bahia Alagoas e Sergipe (ERBASE) in SBC – Proceedings of SBGames.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Educação e Tecnologia

Promoção

