

SUBSTITUIÇÃO DE CONTROLADOR INDUSTRIAL POR CONTROLADOR DE BAIXO CUSTO EM MAQUETE DIDÁTICA DE LINHA DE MONTAGEM AUTOMOTIVA

PAULO JOSÉ ROCHA JÚNIOR¹, ADRIANO NOGUEIRA DRUMOND LOPES^{1,2}, RENATO DE SOUSA DÂMASO^{1,2}

¹ *Programa de Educação Tutorial (PET) do Curso Superior em Engenharia Mecatrônica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – campus Divinópolis, Divinópolis, Minas Gerais, Brasil*

² *Laboratório de Robótica, Departamento de Engenharia Mecatrônica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – campus Divinópolis, Divinópolis, Minas Gerais, Brasil*

E-mails: paulojunior_29@hotmail.com, adriano@cefetmg.br, renatosd@cefetmg.br

Abstract— This work presents the improvement as a didactic resource, and with cost reduction, of a mechatronic plant that simulates part of an automotive assembly line. This was the result of a Mechatronics Engineering Graduation Final Project of a former student of the Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). The model is composed by an oval line where suspended vehicles are transported to a workstation, composed by miniature robotic manipulators that simulates activities carried out in the automobile industry, such as welding, dimensional verification, assembly, among others. It also has a control panel that houses controller and the trigger plates. This works as an interface between the user and the equipment by means of buttons and indicator lights of the state of the model. As the main change, a Programmable Logic Controller (PLC), which controlled the model, was substituted by a low-cost controller, the Arduino. Despite the use of a new controller, the replacement preserves the industrial character of the model, being the Arduino programmed in Ladder, the same language as the PLC. In a second moment, electro-electronic adaptations were made for the implementation of the new controller. Finally, the Arduino communication with the robotic arms is presented. The model presents itself as a facilitator tool for the teaching of engineering. The text, therefore, presents the stages of this adaptation and its didactic proposal.

Keywords— Arduino, Automotive Industry, Didactic Model, Engineering Teaching, Robotics

Resumo— Este trabalho apresenta o aperfeiçoamento como recurso didático, e com redução de custos, de uma planta mecatrônica que simula parte de uma linha de montagem automotiva. Esta foi fruto de um Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecatrônica de um ex-aluno do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). A maquete é composta por uma linha oval onde veículos suspensos são transportados até uma estação de trabalho, composta por manipuladores robóticos em miniatura que simulam atividades realizadas na indústria automobilística, como soldagem, verificação dimensional, montagem, entre outros. Possui também um quadro de comando que abriga o controlador e as placas acionadoras. Esse funciona como interface entre o usuário e o equipamento por meio de botões e luzes indicadoras do estado da maquete. Como principal alteração, foi realizada a substituição de um Controlador Lógico Programável (CLP), que controlava a maquete, por um controlador de baixo custo, o Arduino. Apesar da utilização de um novo controlador, a substituição preserva o caráter industrial da maquete, sendo o Arduino programado em Ladder, a mesma linguagem do CLP. Em um segundo momento, foram realizadas adaptações eletroeletrônicas para a implementação do novo controlador. Por fim, é apresentada a comunicação do Arduino com os braços robóticos. A maquete se apresenta como uma ferramenta facilitadora para o ensino de engenharia. O texto, portanto, apresenta as etapas desta adaptação e sua proposta didática.

Palavras-chave— Arduino, Ensino de Engenharia, Indústria Automotiva, Maquete Didática, Robótica.

1 Introdução

Novas tecnologias têm mudado a concepção humana de trabalho no cenário atual. Profissionais com habilidades multidisciplinares e algumas, até pouco tempo desconhecidas, vêm ganhando espaço no mundo do trabalho. Esta nova característica de trabalhador traz um enorme desafio para os centros educacionais, como escolas de ensino básico, de ensino técnico e superior, tão enraizadas em um modelo de ensino do século passado. Segundo Lopes (2013), o

mundo do trabalho tem exigido também, cada vez mais, profissionais capazes de se adaptarem rapidamente às novas tecnologias e às novas formas de trabalhar, cabendo às universidades oferecer a esses profissionais em formação o contato com formas complementares de ensino para que sejam melhor preparados.

O envolvimento dos alunos com a prática proporciona sua participação direta na construção de seu conhecimento. Passando por experiências, erros, tomadas de decisões e percepção de consequências, o estudante se torna agente ativo em seu aprendizado. Tudo isso atinge positivamente seu cognitivo.

O Cone da Experiência de Edgar Dale (*apud* THE OHIO STATE UNIVERSITY, 2016), Figura 1, é um diagrama que representa a relação do envolvimento do aluno no processo de aprendizagem com a retenção do conhecimento. O esquema mostra que, após duas semanas após o contato direto com o “fazer”, a retenção do conhecimento é de cerca de 90%, enquanto que envolvimento passivos como ler, ouvir e ver proporcionam uma fixação de apenas 10% a 30%.

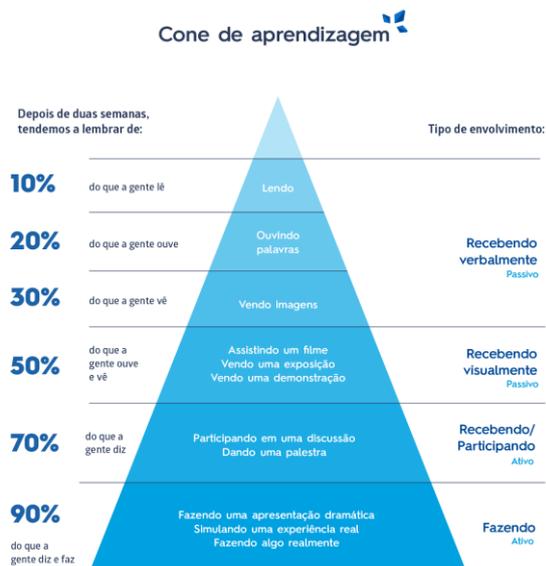


Figura 1. O Cone da Experiência de Edgar Dale

Curzel (2006), afirma que a conexão da teoria vista em sala com a prática em laboratório é também uma forma eficiente de avaliar o processo de ensino-aprendizagem do aluno, não deixando as tradicionais provas como exclusividade. Neste sentido, o uso de materiais didáticos nos cursos de engenharia traz esta aproximação teoria-prática e a exigência de uma participação mais ativa do aluno, além de se mostrar como mais uma forma de avaliar seu aprendizado.

Os recursos didáticos para o ensino de engenharia encontrados no mercado geralmente requerem um alto investimento financeiro, dificultando o acesso a este tipo de tecnologia. Nesse sentido, o desenvolvimento de seus próprios recursos didáticos é uma saída encontrada por algumas Instituições para propiciar um aprendizado mais dinâmico mantendo um orçamento reduzido. Além disto, neste modelo, a participação dos alunos é ampliada, pois esses podem participar das etapas de projeto, construção e da elaboração de roteiros para aulas práticas e assim, formar uma contribuição para o aprendizado dos futuros discentes a utilizarem tais recursos.

Este tema tem sido abordado por alguns autores. Ferreira (2016) apresenta o projeto e o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para auxiliar o ensino de Teoria de Controle de Sistemas. A plataforma permite que os discentes obtenham o modelo matemático do processo, desenvolvam a síntese dos compensadores e por fim, validem os controladores na

realização do controle em malha fechada da temperatura em um duto ventilado, exposto a uma fonte de calor. O autor justifica a proposta, pautando-se na dificuldade observada pelos docentes em apresentar de maneira prática os conteúdos desta disciplina, que envolve muita teoria matemática e, a planta desenvolvida possibilita ao aluno a percepção dos conceitos físicos envolvidos e a aplicação da teoria, visualizando assim, os conceitos de forma prática.

Júnior *et. al.* (2016) desenvolveram uma plataforma robótica utilizando um kit didático e elaboraram um *software* para o controle de posição e geração de trajetórias do manipulador robótico. O *software* permite a movimentação do robô, além de receber informações de seus estados, como posição, torque, ângulos dos braços. Com esse dispositivo, o aluno pode verificar na prática conceitos relacionados a modelagem, controle e planejamento de trajetórias de robôs, teorias apresentadas e discutidas em obras como a de Siciliano *et. al.* (2009).

As ferramentas citadas acima, além de serem recursos didáticos, também podem proporcionar aos envolvidos, experiências da indústria. Neste contexto, Lopes (2013) propôs o desenvolvimento de uma maquete, de baixo custo, que simula parte de uma linha de montagem automobilística. Essa maquete consiste em uma estrutura para o transporte de automóveis composta por sensores, atuadores, CLP (Controlador Lógico Programável) e manipuladores robóticos.

O objetivo do presente trabalho é a adequação da planta supracitada, com redução de custos, afim de torná-la mais eficiente como ferramenta didática para disciplinas das áreas de Robótica, Automação Industrial, Programação, entre outras. No presente trabalho um Arduino Uno será utilizado para substituir um controlador industrial, o CLP.

2 Princípio de Funcionamento da Maquete

Na primeira versão da maquete (LOPES, 2013), foi utilizado um CLP Siemens S7-300 CPU 12C, cedido pela coordenação do Laboratório de Automação Industrial do CEFET-MG. A maquete foi instalada no Laboratório de Robótica para ser utilizada conforme seu objetivo, como recurso didático. A Figura 2 mostra a planta indicada.



Figura 2. Maquete didática que simula linha de montagem automobilística

A maquete é composta por uma linha oval em que os veículos são suspensos e transportados por um teleférico, acionado por um motor *brushless*, até chegar à estação de trabalho, composta por quatro manipuladores robóticos que fazem a simulação de processos presentes na indústria automobilística.

A planta também possui um sensor de presença ótico que detecta a chegada do veículo na estação de trabalho. Ao ocorrer esta condição, a movimentação do teleférico é suspensa e os manipuladores realizam uma determinada função pré-programada.

Os manipuladores são do tipo Articular, ou Antropomórfico com seis graus de liberdade e foram projetados durante o TCC (LOPES, 2013), com o auxílio de um programa de modelagem 3D e cortados a laser em acrílico. Robôs do tipo Antropomórfico são similares a braços humanos, com as três primeiras juntas comparadas a ombro, cotovelo e punho, respectivamente. A Figura 3 mostra uma imagem renderizada de um dos manipuladores desenvolvidos para a maquete.

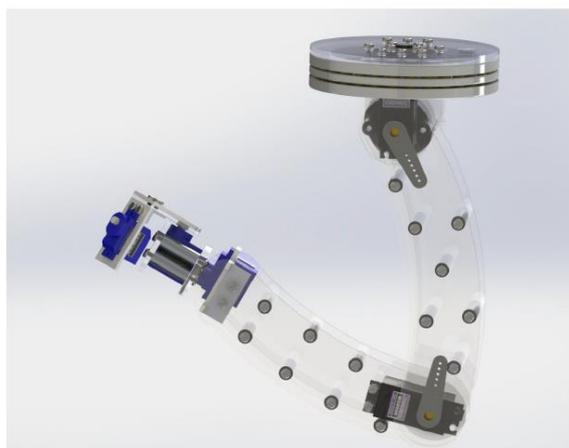


Figura 3. Imagem renderizada do manipulador robótico

A Figura 4 mostra a *layout* da planta mostrando o posicionamento dos instrumentos e identificando-os de acordo com a nomenclatura da norma ISA 5.1 (ISA, 2009 *apud* Bega, 2006): JZ representa o motor responsável pela movimentação da linha, ZZ os manipuladores robóticos, YE o sensor ótico para detectar a chegada do veículo à estação de trabalho e QC a placa controladora Usbor 32i, que será apresentada no tópico a seguir. O número 01 representa o número definido para a malha.

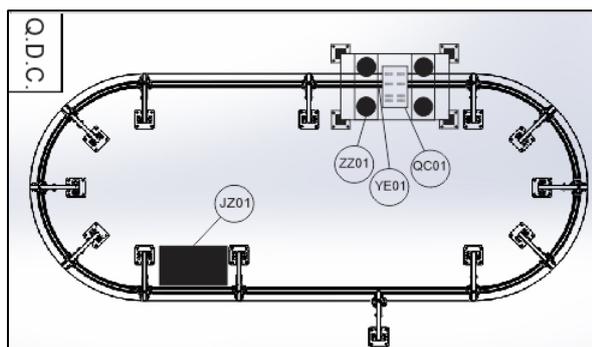


Figura 4. *Layout* da maquete com posicionamento dos instrumentos representados pela nomenclatura ISA

Na Figura 4 é possível ver um pequeno Quadro de Distribuição Compacto (Q.D.C.). Este é o painel de controle, que, nos moldes do que acontece nas indústrias, é responsável pelo monitoramento dos sensores e pelo acionamento da linha, além da sinalização de seu funcionamento e alarmes.

Os comandos de acionamento da linha são realizados no painel de controle por meio de três botoeiras: Liga, Desliga e Emergência. Ainda no painel, estão instaladas luzes indicativas: vermelha, verde e laranja, que sinalizam o estado da maquete. A Figura 5 apresenta o layout externo do painel indicando os instrumentos presentes e sua nomenclatura de acordo com a norma ISA 5.1 (ISA, 2009 *apud* BEGA, 2006): ES representam os botões de controle e YI as luzes indicadoras de estado da maquete.

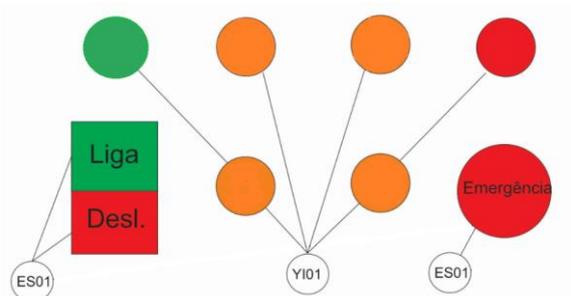


Figura 5. *Layout* externo do Q.D.C com instrumentos nomeados de acordo com a nomenclatura ISA

2.1 O Kit Robix™

O Kit Robix™ é um kit didático composto por servo motores (que simulam juntas rotacionais), *links* de tamanhos diferentes, fonte de alimentação (6 V), entre outros componentes e a placa controladora Usbor 32i, que é responsável pelo controle de posicionamento dos motores. Esta foi utilizada no controle dos servo motores dos manipuladores robóticos da maquete.

A placa Usbor 32i possui 32 saídas digitais, temporizadas, que permitem a geração de ondas quadradas que podem ser utilizadas para o controle dos servo motores, 32 entradas analógicas (de 8 Bits, com faixa de entrada de 0 a 2,5V) e comunica-se via USB com um computador. Possui um microcontrolador próprio e sua programação é realizada por meio do software UsborNexway, disponível gratuitamente no site do Robix™ (ROBIX, 2011).

A programação da placa Usbor é bem parecida com a programação de robôs industriais, como o Comau Smart5 Six (COMAU, 2005) e envolve comando de movimentação MOVE e posicionamento de acordo com a rotação das juntas. Também é possível movimentar as juntas pelo teclado do computador e gravar suas posições atuais, adicionando-as ao código.

Como já mencionado, os manipuladores são controlados pela placa Usbor 32i do kit Robix™. Sua programação é bem parecida com a utilizada em robôs utilizados neste cenário na vida real. A programação pode ser realizada pelo método de aprendizagem, em que o operador guia o efetuador do robô por seu órgão terminal e enquanto isto, as posições provenientes dos *encoders* de cada junta do robô são utilizadas para memorizar os pontos importantes a serem executados em uma reprodução futura.

Na primeira versão da maquete, os manipuladores robóticos eram acionados de acordo com um temporizador sincronizado com o tempo para o veículo percorrer toda a linha e chegar na estação de trabalho. Com a utilização do sensor para detectar sua chegada, nesta adaptação com o novo controlador, esta operação foi realizada de uma forma diferente.

Com a chegada do veículo na estação de trabalho, o sensor a detecta e envia um sinal digital para o Arduino. O controlador interpreta esta chegada, envia um sinal para cessar o funcionamento do motor e também um sinal para a placa controladora do Robix™ indicando que inicie sua atividade. Assim, o tempo da atividade completa dos robôs é sincronizado com o tempo de espera para o Arduino acionar novamente o motor para o veículo continuar o trajeto.

Apesar da placa Usbor possuir entradas físicas, a interface de programação que originalmente acompanha o Robix™ não permite o tratamento e tomada de decisões a partir dessas entradas. Como foi implementada uma entrada para receber o sinal do Arduino de início das atividades dos manipuladores, foi necessário fazer a programação da placa Usbor em outra linguagem de programação. A escolhida foi a linguagem C, onde é possível tratar entradas com funções simples como *if* ou *while*. Utilizando a biblioteca disponível no site do kit (ROBIX, 2011), *rbxNexwayLib.h*, foi possível tratar a entrada vinda do Arduino e acionar os manipuladores robóticos.

Com a utilização da biblioteca, a programação dos movimentos dos robôs é idêntica à utilizada na programação oficial do kit, mantendo a semelhança da linguagem dos robôs didáticos com os robôs industriais.

Além da linguagem C, a placa Usbor 32i também pode ser programada em JAVA e Visual Basic, ampliando o potencial de controle da placa. Ademais, a placa possibilita o desenvolvimento e aplicação de outros protocolos de comunicação através de suas entradas e saídas.

5 Resultados

Após a implementação do novo controlador, as placas eletrônicas desenvolvidas, a comunicação com a placa Usbor 32i e sua programação na linguagem C, a maquete funcionou perfeitamente, da mesma forma como era com o controlador CLP.

A redução de custos foi da ordem de R\$3000,00, devido ao alto custo do controlador industrial e ao valor de cerca de R\$50,00 pelo Arduino.

A fim da promoção da maquete como ferramenta didática, foram elaboradas, juntamente com professores das áreas, propostas de atividades a serem realizadas diretamente na planta. Estas serão discutidas a seguir.

Em disciplinas da área de Automação Industrial os alunos poderão desenvolver programas em Ladder ou outras linguagens reconhecidas pela IEC 61131-3. Outra abordagem pode ser o desenvolvimento e aplicação de sistemas supervisórios e controle em tempo real. Também é possível a implementação e elaboração de protocolos de comunicação. A integração de novos postos de trabalho, com novos instrumentos também proporciona novas funcionalidades para a planta.

No contexto da Instrumentação, são possíveis atividades que envolvam a medição e monitoramento de variáveis de estado. A planta também se apresenta como objeto de estudo para elaboração de documentos de planta industrial e esquemáticos instrumentais.

No âmbito da Robótica Industrial, é possível utilizar os manipuladores para a consolidação dos conhecimentos relativos ao planejamento de trajetórias, visto que a programação destes se assemelha à de robôs industriais. Também é desejável que estes sejam utilizados para a verificação de rotinas desenvolvidas para posicionar o efetuador em um determinado ponto fazendo uso das equações de cinemática inversa. Além disso a maquete possui espaço e capacidade operacional para integração de novos postos de trabalho, proporcionando o desenvolvimento de novos atuadores, implementação de mais sensores e realização de diversas atividades industriais.

Verificado o correto funcionamento da maquete depois das adaptações realizadas foi realizada uma modelagem cinemática de um dos braços robóticos e testado na maquete para verificar uma aplicação na área de Robótica.

A Figura 7 mostra o modelo de arame do manipulador indicando os comprimentos dos links e a direção e o sentido positivo de seus movimentos.

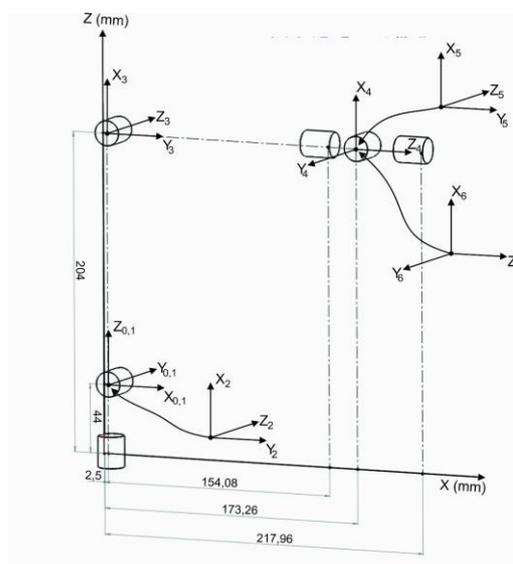


Figura 7. Modelo de arame do manipulador e atribuição dos sistemas de coordenadas ortornormais.

Utilizando o método de Denavit-Hartenberg modificado (CRAIG, 2005), foram atribuídos os sistemas de coordenadas indicados na Figura 7 e foi construída a Tabela 1, a qual contém os ângulos de movimentação das juntas do manipulador. Com o auxílio desta tabela foram encontradas as matrizes de transformação do manipulador.

Tabela 1. Parâmetros de Denavith-Hartenberg para o manipulador

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0°	0	0	θ_1^*
2	-90°	2,5	0	$\theta_2^* - 90^\circ$
3	0°	160	0	θ_3^*
4	-90°	170,76	0	θ_4^*
5	90°	0	0	θ_5^*
6	-90°	0	0	θ_6^*

A versatilidade da placa Arduino também proporciona o potencial para utilização da maquete para atividades das áreas de Programação de Microcontroladores, podendo incorporar novas bibliotecas e definir novas funções para a planta.

6 Conclusões

Um curso superior de engenharia envolve muita matemática e física teóricas e muitas vezes aplicadas apenas a situações ideais. Mas, a realidade encontrada na indústria envolve vários parâmetros que devem ser considerados e proporciona experiências que só são possíveis em uma real aplicação. Assim, a utilização de uma maquete operacional tenta suprir e proporcionar algumas dessas experiências.

A maquete permite que o graduando em Engenharia Mecatrônica aplique conhecimentos de diversas áreas do curso no intuito de melhorar os processos e os dispositivos que a compõe.

Como perspectiva futura, pretende-se incluir o robô industrial Comau Smart5 Six na operação da maquete para realizar os processos industriais simulados pelos manipuladores robóticos e o desenvolvimento de sistemas supervisórios e controle em tempo real.

Assim, a maquete se mostra como uma ótima ferramenta didática para o ensino de engenharia e, por fim, mostra a possibilidade da utilização de uma plataforma de baixo custo para realizar atividades antes realizadas por um controlador industrial, de custo mais elevado.

Agradecimentos

Agradecemos ao CEFET-MG, seu corpo docente, direção e administração, ao Programa de Educação Tutorial (PET) do Curso Superior em Engenharia Mecatrônica, que nos forneceu os recursos necessários para a execução deste projeto.

Referências Bibliográficas

- AVRDUDESS. Version 2.4. Inglaterra: Zack Kemble, 2013. Available at: <<http://blog.zakkemble.co.uk/avrduess-a-gui-for-avrduess/>> [Accessed Dec. 2017].
- Bega, Egídio A. *et al.* (2006). *Instrumentação Industrial*. 3. ed. Rio de Janeiro, Brasil.
- Craig, J. J. (2005). *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Pearson Prentice Hall, 3ª ed.
- Comau Robotics (2005). *Smart SiX Technical Specification*, Comau Robotics Instructions Handbook.
- Curzel, J. L. (2006). *Concepção de uma Célula Flexível de Manufatura Didática para o Ensino de Engenharia*. XXXIV COBENGE 2006, Passo Fundo, Brasil.
- Ferreira, D. V. M. (2014). *Desenvolvimento de Sistema Educacional para Teoria de Controle de Sistemas*. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.
- Júnior, G. A. and Lima, A. B. and Barros, P. R. (2016). *Identificação e Modelagem da Plataforma Robótica Didática*. XXI Congresso Brasileiro de Automática – CBA2016. Vitória, Brasil.
- LDMICRO. Version 1. Seattle. 2007. Available at: <<http://cq.cx/ladder.pl>> [Accessed Dec. 2017].
- Lopes, A. N. D., (2013). *Desenvolvimento de uma Linha de Montagem Robotizada em Miniatura para Fins Didáticos*. Centro Federal de Educação Tecnológica, Divinópolis, Brasil.
- Robix. (2011). *Usbor software Tutorial*. Available at: <<http://www.robix.com/default.html>> [Accessed 2 Mar. 2018].
- Sciavicco L. and Siciliano B. and Villani L. and Oriolo G., (2009). *Robotics: Modelling, Planning and Control*. Springer, London, England.
- The Ohio State University (2016). Edgar Dale Media Center. Available at: <<http://u.osu.edu/eheedtech/2016/12/01/edgar-dale-media-center/>> [Accessed 5 Mar. 2018].