

ASPECTOS PRÁTICOS NA EDUCAÇÃO DO CONCEITO DO BINÔMIO TENSÃO MECÂNICA - TENSOR (BiTT)

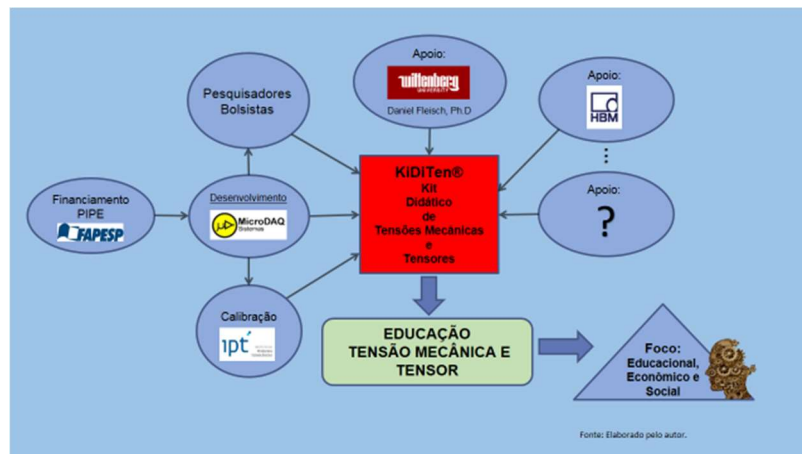
Resumo: O objetivo deste artigo é apresentar o processo de desenvolvimento e estudo de viabilidade de um kit educacional (KiDiTen®), versão II, automatizado, em conformidade com a formação por competência na Engenharia, utilizando conceitos de Física, Matemática e Resistência dos Materiais, com o objetivo de levar o aluno ao conceito elementar da tensão mecânica e tensor. Serão utilizadas metodologias como: Educação Baseada em Projetos (PLE), Aprendizado Baseado em Problemas (PBL) e abordagem STEM e o conceito de Tensores em consonância com os modernos aspectos da engenharia da complexidade. Essa visão holística levará o aluno ao contexto da globalização 4.0, pois requer resiliência dos alunos, para se adaptarem às novas tecnologia.

Palavras-chave: Pesquisa, Inovação, Engenharia, Educação, STEM

1. INTRODUÇÃO

O diagrama de blocos da Figura 1 mostra o processo de desenvolvimento e fabricação do kit educacional denominado KiDiTen®. Este tem a finalidade de ser um kit educacional de baixo custo e preço acessível para o ensino médio e faculdades, para o ensino de Matemática, Física e Resistência dos Materiais.

Figura 1 – Projeto–diagrama de blocos



Fonte: Elaboração Própria

1. Patrocínio PIPE – Fundação de Pesquisa de São Paulo
2. Apoio: Daniel Fleisch, Ph.D – Dispositivo interativo/livro/vídeo
3. Strain Gauge : HBM
4. Estudante com bolsa USP FEI PUC-SP
5. Desenvolvimento MicroDAQ
6. KiDiTen® - Kit didático para tensão mecânica
7. Usuários:
 - Centro Paula Souza (médio e superior);
 - SENAI (médio e superior);
 - Instituto Federal (médio e superior).

- Etc.
- 8. Calibração - IPT
- 9. Foco: ensino do binômio Tensão Mecânica-Tensor
- 10. Exposições:
 - Instituto IFT;
 - Parque CienTec;
 - Projeto Catavento.

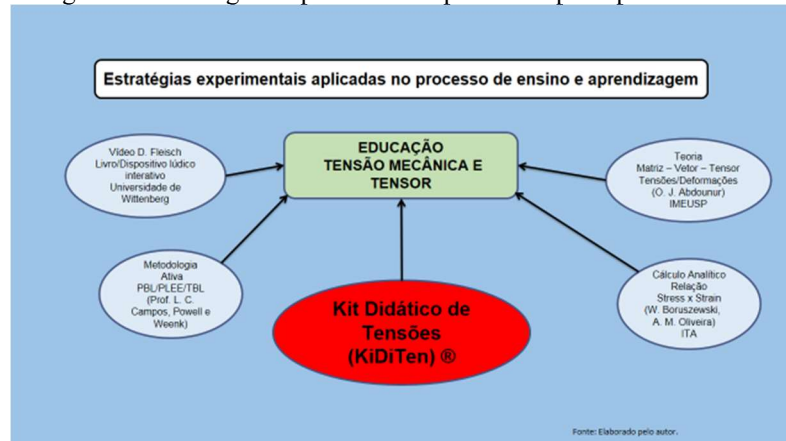
O Projeto baseia-se na metodologia da fenomenologia (Husserl, Heidegger e Vygotsky), onde se visa unir e organizar conhecimentos fundamentais da Matemática e da Física, a fim de construir novas estratégias de ensino, mais acessíveis e prazerosas ao aluno, criando assim uma nova cosmovisão sobre estas disciplinas nesses cursos. Enfocamos a Teoria da Complexidade com base em Herch Moysés Nussenzveig, Edgar Morin, José Roberto Castilho Piqueira, Sérgio Mascarenhas de Oliveira e L. von Bertalanffy. A aplicação e sua solução serão a aprendizagem e incorporação das ideias fundamentais da Matemática, Física, Mecânica dos Sólidos e Teoria da Resistência dos Materiais a partir de ferramentas propostas (SANCHÉZ, 2007; FLEISCH, 2011a, 2011b; FEYNMAN, 2016), desde objetos matemáticos até a representação da realidade física. A varredura ocorrerá através da matriz, vetor e principalmente o conceito de TENSOR, bem como da mecânica dos sólidos, de forma simples e aplicada, incluindo os importantes aspectos históricos, sociais e filosóficos.

Piqueira & Oliveira (2015) apontam que os sistemas complexos ou os “sistemas de sistemas” nascem do progresso tecnológico cada vez mais presente no cotidiano. Para o bem, com os algoritmos computacionais das redes neurais, por exemplo; e para o mal, com surpreendentes acidentes. Mesmo com a abrangência do conhecimento, embate-se com a surpresa chamada, em linguagem técnica, de emergência. Sempre que partes se reúnem formando um todo, serão mostrados alguns comportamentos que não são apenas sobreposições de comportamentos individuais. Outro fator que não pode ser ignorado é a extrema sensibilidade às condições iniciais que alguns sistemas mostram. Pequenas perturbações em sistemas anteriormente robustos geram comportamentos muito diferentes dos esperados. Tais aspectos demonstram os sistemas complexos: emergência e sensibilidade às condições iniciais.

Deste modo, considerando a quebra de paradigmas mais positivos e dominantes do século e meio anterior, bem como a integralidade das proposições que circundaram o universo da Complexidade, deve ser considerada a área de Engenharia do Conhecimento. Não obstante, o desafio dominante da ciência a partir do século XXI é encontrar maneiras de inserir a Complexidade dentro da esfera do ensino e da pesquisa, a partir daqueles paradigmas que conectam diferentes aspectos da arte de exercer Engenharia.

Nesta perspectiva, o desenvolvimento desta pesquisa será dado pelos instrumentos disponibilizados pelas ciências do estudo e seus respectivos produtos no mercado de tecnologia. Esses são os instrumentos que promovem uma melhor interação entre teoria e aplicação prática dos conhecimentos (Figura 2): SolidWorks, técnica de análise de tensores utilizando Strain Gauges, dois kits experimentais medindo flexão e torção, conceituação matemática e qualitativa de Matriz, Vetor e Tensor, aplicação das Tensões em diversos campos, aspectos históricos, filosóficos, sociológicos, semióticos e Teoria da Complexidade, com a finalidade de integrar e motivar o aluno no estudo dos Tensores, levando assim ao conceito qualitativo de TENSOR.

Figura 2 - Estratégias experimentais aplicadas à parte prática da tese



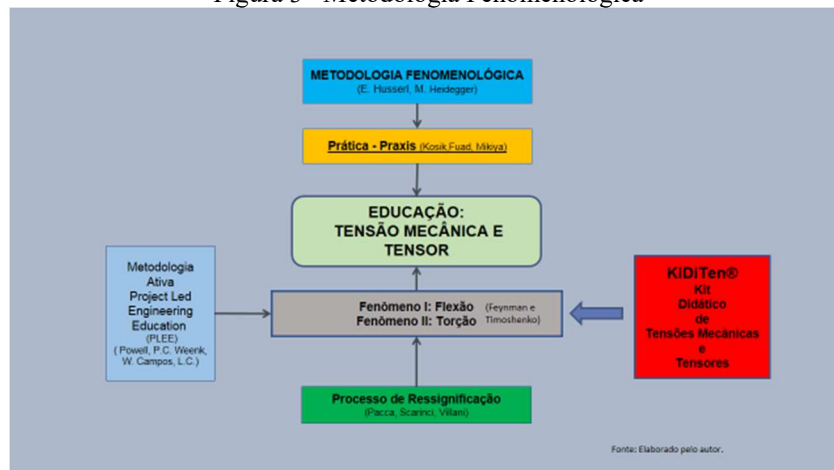
Fonte: Elaboração Própria

2. METODOLOGIA FENOMENOLÓGICA

A ideia de Campos et. al. (2012) ultrapassa as fronteiras do ensino tradicional rumo a uma metodologia ativa de ensino e aprendizagem, onde os alunos são elementos ativos e o tutor é um elemento facilitador, numa metodologia dinâmica e individualizada.

O construtivismo defende que os estudantes são aprendizes ativos que constroem seu próprio entendimento e direcionam seu próprio processo, de acordo com essas premissas básicas: aquisição de conhecimento sendo um processo de construção do conhecimento, beneficiando-se de habilidades meta-cognitivo e aprendizagem envolvendo interações dentro de um contexto autêntico. As metodologias educacionais que se encaixam nas definições acima são a Educação Conduzida pelo Projeto (PLE) e a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL).

Figura 3 –Metodologia Fenomenológica



Fonte: Elaboração Própria

Powell e Weenk (2003, p. 29-30) definem o PLE como focado na atividade estudantil baseada em trabalho em equipe e em resolução de projetos abertos, apoiados por vários cursos de palestras baseados em teoria.

O PBL pode ser tanto um currículo quanto um processo. O currículo consiste em problemas cuidadosamente selecionados e projetados que exigem a aquisição, por parte do estudante, de conhecimento crítico, proficiência na resolução de problemas, estratégias de aprendizado auto direcionadas e habilidades de participação da equipe.

À primeira vista, as características do PBL parecem ser as mesmas que no PLE; elas são diferentes em ênfase e forma. Fundamentalmente, o aprendizado baseado em problemas e projetos tem a mesma orientação: ambos são abordagens autênticas e construtivistas para a aprendizagem. As diferenças entre ambos podem estar em variações sutis (WEENK e VAN DER BLIJ, 2012).

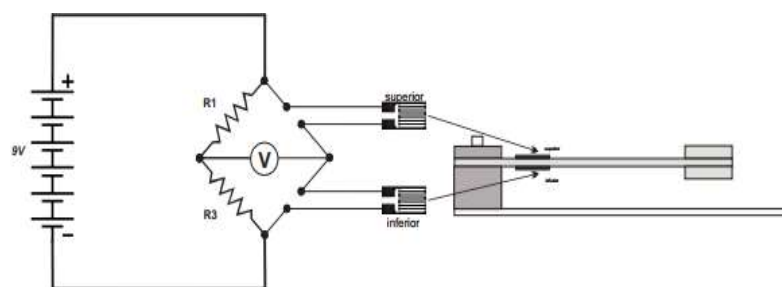
Baseando-se na metodologia ativa PBL, procura-se criar um vínculo com esta proposta numa aprendizagem baseada em projetos, cujo abandono dos métodos tradicionais coloca o professor na função de orientador, desenvolvendo assim mais liberdade para os alunos que serão responsáveis pela sua própria formação, integrando teoria e prática, possibilitando uma aprendizagem significativa, propiciando o trabalho em equipe e realizando projetos reais (PEREIRA e SANTOS, 2013).

O aprendizado prático em projetos interdisciplinares com o trabalho em equipe contribui para a possibilidade de alcançar uma compreensão mais aprofundada nos conceitos que ultrapassam os limites da realidade, de meros ouvintes para leitores de conceitos, trabalhando em parceria com seus colegas na aplicação desses conceitos com a finalidade de resolver projetos abertos de larga escala (POWELL & WEENK, 2003).

3. EXTENSÔMETRO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA (ERE) OU STRAIN GAUGE

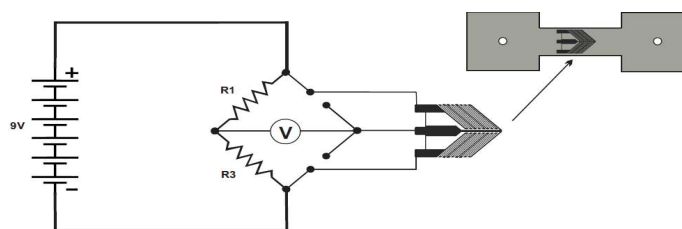
O strain gauge, ou extensômetro, é um dispositivo de medição de quantidades mecânicas mais universal da atualidade. Existem muitos tipos de extensômetros, que diferem entre si pela proporcionalidade da variação da resistência elétrica em função de sua deformação. Os tipos mais amplamente disponíveis são: resistência piezo-resistiva, carbono-resistiva, bimetálica, resistência colada e de folha resistiva. Este último é o mais amplamente utilizado, e consiste de uma pista de fio ou folha resistiva inserida a uma matriz de acetato. A resistência elétrica da pista varia linearmente em função da tensão sofrida, causando desbalanceamento da Ponte de Wheatstone, conforme as figuras 4 e 5 (OMEGA, 1995, E-3).

Figura 4– Circuito I – Flexão



Fonte: Elaboração Própria

Figura 5- Circuito II – Torsão



Fonte: Elaboração Própria

O módulo de aquisição de dados para strain gauge utilizado neste trabalho é o Quantum X MX1215B, da empresa HBM, que contém 16 entradas para sensores, dispostas em um corpo compacto, oferecendo uma densidade de canal incomparável em um pequeno espaço.

O módulo Quantum X MX1615B foi escolhido para este trabalho pelo fato de ser ideal para testes precisos e seguros de strain gages em configurações de ponte completa, ½ ponte e ¼ de ponte, bem como para transdutores, potenciômetros, termo resistência (PT100) ou tensão normalizada (+/- 10V). Este módulo é a escolha ideal para quando deformações forças e deslocamentos são adquiridos, e também quando a influência de temperatura deve ser quantificada.

Figura 6 – Módulo Quantum X MX1615B



Fonte: HBM do Brasil

Para a análise de dados o software utilizado é o Catman, também da empresa HBM. Com ele é possível configurar o teste de diferentes maneiras e utilizar as diversas ferramentas presentes no software.

O Kit foi enviado para o Laboratório de Metrologia Mecânica do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) para caracterizações, calibrações e emissão de certificados.

A calibração é um processo que determina, em condições específicas, a relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e os valores correspondentes de um dado instrumento ou equipamento. Geralmente a calibração é expressa por meio de um certificado, contendo tabelas ou gráficos. Este procedimento deve ser sempre realizado quando há necessidade de se comprovar a validade dos resultados apresentados por um instrumento ou equipamento, garantindo assim a rastreabilidade e confiabilidade do processo de medição ou controle. A metodologia e os procedimentos empregados neste trabalho tiveram ainda como objetivos avaliar a funcionalidade, repetibilidade e reprodutibilidade do KiDiTen®, considerando a proposta principal do KiDiTen®, a qual é fundamentalmente educacional.

Figura 7 – Diagrama de Blocos KiDiTen

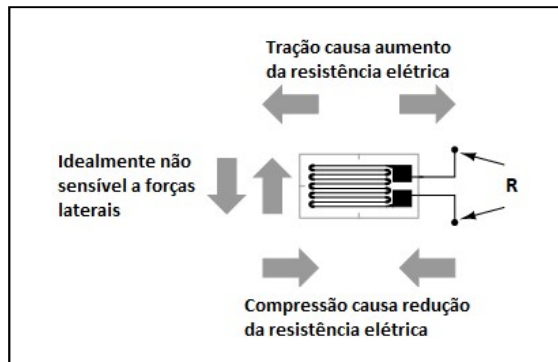


Fonte: HBM do Brasil

As montagens são simples, visando reduzir custos e torná-los viáveis para utilização nas escolas. A posição para instalar o sensor pode ser determinada com base nos dados extraídos do experimento. Levando em conta que o extensômetro mede a razão entre a extensão de um eixo sob carga e a extensão do mesmo eixo sem carga, primeiramente foi escolhido o eixo do corpo de prova para a instalação/colagem, de acordo com a mudança de extensão esperada no dado eixo. Isso varia caso o corpo de prova não seja homogêneo ou apresente rupturas de falha em lugares específicos, rupturas estas que se deseja analisar.

Um manual de aplicação de extensômetros mostra-se útil ao listar quais tipos de sensores serão adequados para certas aplicações. Além disso, serão necessários o conhecimento da sensibilidade do sensor, tensão elétrica máxima de excitação, compensação térmica e eixo de trabalho (OMEGA, 1995, sessão E).

Figura 8 – Diagrama de resposta do extensômetro



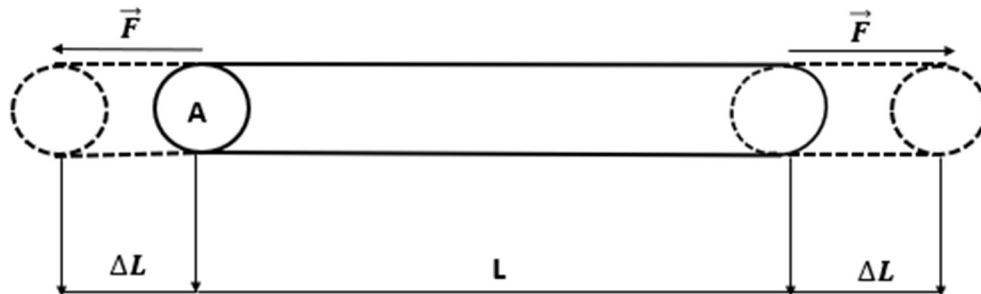
Fonte: Elaboração Própria

Idealmente, o extensômetro de resistência elétrica é um resistor num circuito elétrico de instrumentação, cuja saída é proporcional à grandeza mecânica a ser medida. A rigor, é o único resistor variável no circuito.

O princípio de funcionamento do extensômetro de resistência elétrica baseia-se na relação entre o stress mecânico e a resistência elétrica em um condutor, conforme mostrado na Figura 6. Um parâmetro fundamental do extensômetro é a sua sensibilidade à deformação. A resistência elétrica de um extensômetro varia gradualmente em função da deformação em seu corpo causada por tensão ou compressão. Esse fator é denominado de "gauge factor" ou fator de sensibilidade, ou GF. O GF é definido pelo fabricante, e seu valor típico é 2. Ele pode ser definido pela razão entre a diferença entre a resistência do extensômetro antes e depois da deformação pela resistência nominal do extensômetro, dividido pelo coeficiente de deformação linear.

Observação: A relação Stress/Strain pode ser demonstrada por meio de um corpo cilíndrico, corpo de prova que equivale a um pequeno segmento de um extensômetro, conforme a figura 7.

Figura 9 –Diagrama da extensão de um corpo cilíndrico de um pequeno segmento de um extensômetro



Fonte: Elaboração própria

$E = Y =$ módulo de elasticidade = módulo de Young

$$Y = \frac{\text{stress}}{\text{Strain}} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} \quad (1)$$

Load ↔ Stress - Esforço/Tensão Mecânica
Extension ↔ Strain - Enlongação/Deformação

$$\therefore E = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \Rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Onde: σ é a tensão mecânica ($[Pa] = N/m^2$), E é o módulo de elasticidade (Pa), ε é a deformação linear (Strain) (1).

4. APLICAÇÃO PRÁTICA DO CONCEITO DE TENSOR

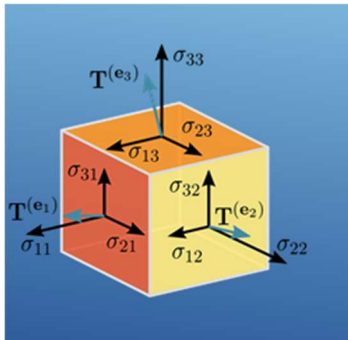
Considerando-se um volume infinitesimal dV no ponto observado, como sendo um paralelepípedo em equilíbrio, serão estudados os Tensores como sendo entidades geométricas introduzidas na Matemática e na Física para generalizar conceitos escalares, vetoriais e matriciais. Como em tais entidades, um tensor é uma forma de representação associada a um conjunto de operações, bem como a soma e o produto.

O tensor tensão de Cauchy, representado pelo símbolo σ , é um [tensor](#) tridimensional de segunda ordem, com nove componentes σ_{ij} que define completamente o estado de [tensão](#) em um ponto no domínio de um corpo material em sua configuração deformada. O tensor relaciona um vetor diretor de comprimento unitário \mathbf{n} com o vetor tensão $\mathbf{T}(\mathbf{n})$ sobre uma superfície imaginária perpendicular a \mathbf{n} .

Muitas grandezas físicas podem ser representadas como a correspondência entre diferentes conjuntos de vetores. Por exemplo, a Tensão (mecânica), como exemplificado na figura 8, traduz uma ferramenta matemática que descreve e representa deformações mecânicas.

A partir das medições de tensão mecânica e das relações *stress-strain*, o aluno pode ser levado ao conceito matemático do Tensor, conforme a figura 8:

Figura 10 – Conceito matemático do Tensor



Fonte: Elaboração Própria

$$\sigma = [\mathbf{T}(e_1)\mathbf{T}(e_2)\mathbf{T}(e_3)]$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

5. RESULTADOS

Diferente do esperado, apesar dos alunos do ensino médio às vezes trazerem uma base matemática fraca, é possível a introdução do conceito de tensor. Ainda que apresentando aspectos positivos quanto à aplicação da Tensão(Resistência dos Materiais), o conceito de Tensor tem trazido dificuldades. Todavia, o aluno é despertado para uma ideia espontânea e introdutória do conceito de Deformação Tensorial. Está comprovado que a metodologia adotada foi adequada (PBL - PLE - PBLE), utilizando diversos ensaios experimentais com máquinas universais (SENAI) e diversos ensaios com torção de giz e barra de torção automotiva (segundo o conceito de ondas torcionais - R. Feynman). Os alunos realizaram experimentos com as mãos, evidenciando aspectos importantes de pro-atividade e motivação. Os conjuntos de kits KiDiTen® foram satisfatórios, bem como a sua calibração no IPT.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo é alcançar o futuro da rede da Teoria da Complexidade para que os cursos de engenharia se tornem mais dinâmicos, numa era de mudanças de valores no que se refere à tecnologia e a educação, fato que fomenta ideias em processos constantes de inovação. O conceito do TENSOR - conceito e aplicações nas teorias de Resistência dos Materiais - deve ser direcionado para os cursos de ciências exatas e para os cursos técnicos. É imprescindível que uma nova geração de alunos aprenda os conteúdos STEM (acrônimo em inglês utilizada para designar quatro áreas do conhecimento: Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), promovendo assim a alfabetização científica e tecnológica, para que os estudantes consigam propor soluções para problemas da vida cotidiana. Esse modelo mostrou que os alunos têm uma visão dos fenômenos que compõem essas áreas em relação ao cotidiano.

Assim, a experimentação é um instrumento que contribui para o entendimento e para o sucesso nos processos de ensino e aprendizagem, pois pode contribuir para diminuir as dificuldades de aprendizagem e aflorar o interesse do aluno nas disciplinas das áreas STEM.

Além da metodologia STEM, a metodologia STEAM está crescendo. Esta é uma vertente da metodologia STEM, onde artes é integrada às quatro áreas de ciência exatas.

1. História da origem dos conceitos, processos de investigação, física, biologia, química, ciências espaciais, geociências, bioquímica
2. História das tecnologias, tecnologia e sociedade. Design, habilidades, projetos para o mundo, agricultura, biomedicina, biotecnologia, informática, comunicação, construção, indústrias, transporte, energia
3. Aeroespacial, fluidos, arquitetura, agronomia, civil, computacional, de minas, acústica, química, elétrica, ambiental, industrial, de materiais, mecânica, dos oceanos, naval
4. Operações, álgebra, geometria, medições, análise de dados, probabilidade, resolução de problemas, comunicação, cálculos, trigonometria, causas e efeitos
5. Humanidades (finas, visuais performáticas): música, teatro, fisiologia (artes manuais, corporais e psicologia), antropologia, relações internacionais, filosofia

Finalmente, partiremos para o processo de criação, sempre com a experimentação em física, conforme apontado pelo Prof. Dr. Fuad Daher Saad:

“Neste contexto, coloca-se o desafio da transformação da sala de aula, que na maioria das escolas ainda reproduzem os paradigmas que exigiam a formação em massa e em série, como numa linha de montagem de veículos, para ambientes mais favoráveis para o processo da ‘criação e desenvolvimento do conhecimento’, base de um paradigma educacional emergente”.

REFERÊNCIAS

ÁVILA, P. U.(2018). *Efetividade de estratégias e técnicas ressignificantes no ensino/aprendizagem do conceito de tensão/tensor em cursos técnicos e de engenharia.*,. 2018. 227 f. Tese (Doutorado– Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

BERTALANFFY, L. (1973). Teoria Geral dos Sistemas. Petrópolis, *Vozes*.

CAMPOS L. C. (2012) *Encontro nacional de coordenadores de cursos de engenharia de produção*. Natal, RN.

CAMPOS, L. C., DIRANI, T. A. E, MANRIQUE, A. L. (2011) *Educação em engenharia: novas abordagens*. São Paulo, SP. Editora PUC-SP.

FERNANDES, S., LIMA, R.M., CARDOSO, E., LEÃO, C., FLORES, M.A. (2009) *An Academic Results Analysis of a First Year Interdisciplinary Project Approach to Industrial and Management Engineering Education. Ibero-American Symposium on Project Approaches in Engineering Education*, Braga, Portugal v.1, n.1, 37- 38.

FEYNMAN, R.P. (2016) *Lições de física de Feynman*. São Paulo, SP: Bookman.

FLEISCH, D. A. (2011) *A student's guide to vectors and tensors*. Wittenberg University, Springfield, OH.

FLEISCH, D. A. (2011, November 20) *What is a tensor?* Recuperado em <https://www.youtube.com/watch?v=f5liqUk0ZTw>

HEIDEGGER, M. (2007, July 01) *A questão da técnica*. Scientiae Studia magazine v.5, n.3. Recuperado em <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-31662007000300006>.

HUSSERL, E. (1992) *Conferências de Paris*. Lisboa: Lusosofia.

MORIN, E. (2003) *A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento*, tradução de Eloá Jacobina. - 8 ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil.

NUSSENZVEIG, H. M.(1999) *Complexidade e caos*. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ.

OMEGA ENGINEERING, INC (1995). *The Pressure, Strain and Force Handbook*. Stamford, CT: Omega.

PEIRCE, C. S. (1993) *Semiótica e Filosofia*. Tradução de: Octanny Silveira da Motaz & Leônidas Hegenberg. São Paulo, SP: Cultrix.

PEREIRA, M. A. C & SANTOS, C. G. L.(2013) *Estudo de Caso em Aprendizagem Baseada em Projetos: Um Catalisador para o Desenvolvimento de Competências Transversais*. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo,

PIQUEIRA, J.R.C. & OLIVEIRA, S. M. (1 de setembro de 2017) *Engenharia de Sistemas Complexos*. Instituto de Estudos Avançados, Revistas da USP, 31, 91.

POWELL, P. C. & WEENK, W. (2003) *Project-led engineering education (PLEE)*. Utrecht: Lemma Publishers.

SAAD, D. F. (2005) *Demonstrações em Ciências: Explorando fenômenos de pressão do ar e dos líquidos através de experimentos simples*. São Paulo: 1ªed. Editora Livraria da Física.

SAAD, D. F. (2015) *O Cotidiano da Física: Leituras e Atividades*. São Paulo: vl.2 (ensino médio, terminologias, óptica, ondas/ Paulo T. Ueno.. [et al.]). Editora Livraria da Física.

SÁNCHEZ, E. (2007) *Tensores*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (2018, March 26) *Curso de Engenharia da Complexidade da USP será apresentado em evento*. Disponível em:<https://jornal.usp.br/universidade/curso-de-engenharia-da-complexidade-da-usp-sera-apresentado-em-evento/n>

WEENK, W. & BLIJ, M. (2012) *PLEE Methodology and Experiences at the University of Twente*. Rotterdam: Sense Publishers.

Abstract: *The purpose of this article is to present the process of development and feasibility study of an educational kit (KiDiTen®), version II, automated, in accordance with the training for competence in Engineering, using concepts of Physics, Mathematics and Resistance of Materials, with the aim of taking the student to the basic concept of mechanical tension and belt tensioner. Using methodologies such as: Project-based Education (PLE), Problem-based Learning (PBL) and STEM approach and the concept of tensors in line with the modern aspects of the engineering complexity.*

This holistic view will take the student to the context of globalization 4.0, as it requires students resilience, to adapt to new technology.

Keywords: *Research, Inovtion, Engineering, Education, STEM*