

Análise da aplicação de um projeto interdisciplinar na educação de futuros engenheiros: montagem de máquinas térmicas com materiais reciclados

Analysis of the application of an interdisciplinary project in education of future engineers: assembly of thermal machines with recycled materials

Elaine Cristina Marques¹ - Centro Universitário Padre Anchieta

Tatiana Lança² - Centro Universitário Padre Anchieta

Sandro Bueno Quirino³ - Centro Universitário Padre Anchieta

RESUMO É crescente nos sistemas educacionais o ensino por meio dos quatro domínios do desenvolvimento da aprendizagem. Entre os métodos utilizados para tal finalidade estão a análise e resolução de problemas e o desenvolvimento de projetos integradores ou interdisciplinares. Ambos utilizam-se de metodologias ativas de ensino, na qual é possível driblar a baixa capacidade de concentração e retenção de informações dos atuais estudantes, ultimamente tão informatizados e globalizados. Neste sentido, o desenvolvimento deste projeto teve por objetivo a confecção, por parte dos estudantes, de uma máquina a vapor com materiais reutilizados/reciclados, bem como sua apresentação durante uma aula experimental. Este projeto foi desenvolvido nas disciplinas Fundamentos de Termodinâmica e Engenharia e Ciência dos Materiais, realizado no 1º semestre de 2014, e envolveu 130 estudantes matriculados no 5º semestre do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Padre Anchieta. Um total de 28 máquinas a vapor foi apresentado e após prévia modificação, a maioria teve sucesso no funcionamento. A maioria dos grupos utilizou materiais ou ferramentas industriais na confecção de seus protótipos. Devido a esta experiência, os estudantes puderam aplicar seus conhecimentos tanto na rotina profissional quanto na rotina acadêmica. Com base nisso, acredita-se que os projetos podem desempenhar um papel de aprendizagem significativa para os estudantes. Ao fim da atividade, a maioria dos estudantes sinalizou a satisfação com o projeto e o desejo de repetir atividades deste tipo, que interligam as disciplinas. Concluiu-se que o ensino por projetos interdisciplinares é uma importante ferramenta no ensino de engenheiros. Assim, a compreensão do conhecimento tem caráter mais articulado e menos fragmentado, o que contribui para o uso da ciência como elemento de interpretação e intervenção da realidade.

Palavras-chave Interdisciplinaridade. Educação baseada em projetos. Termodinâmica. Reciclagem de materiais.

ABSTRACT *Teaching through the four areas of learning development is increasing in educational systems. The methods used for this purpose are: analysis and solving of problems, and development of integrative or interdisciplinary projects. Both use active learning methodologies, making it possible to circumvent the low capacity for concentration and retention of information from today's students, so globalized and dependent on computers. In this sense, the development of this project aims for the students to manufacture a steam machine with reused/recycled materials, and to present it during a trial lesson. This project was developed in the Fundamentals of Thermodynamics and Engineering and Materials Science courses, taken in the first semester of 2014, and involved 130 students enrolled in the fifth semester of the Production Engineering course at Centro Universitário Padre Anchieta. A total of 28 steam machines were presented and, after prior modification, the majority succeeded in their functioning. Most of the groups used industrial materials and/or industrial tools in order to accomplish their projects. Due to this experience, they could apply their knowledge in both student and professional routines. Based on that, it is believed that the projects may play a role of meaningful learning for students. At the end of the activity, most students signaled their satisfaction with the project and their desire to repeat such activities, which interconnect disciplines. It is possible to conclude that teaching through interdisciplinary projects is an important tool in the teaching of engineering, thus, understanding of knowledge is more articulate and less fragmented. It contributes to the use of science as an element of interpretation and intervention of reality.*

Keywords *Interdisciplinary. Project-based learning. Thermodynamics. Recycling materials.*

1. Av. Doutor Adoniro Ladeira, 94. Vila Jundiainópolis, Jundiá - SP, 13210-800, elaine.marques@anchieta.br

2. tatiana.lanca@anchieta.br

3. sandro.quirino@anchieta.br

1. INTRODUÇÃO

O engenheiro atual, desejado pelo mercado, é aquele, que além aplicar de forma técnica o conhecimento obtido na graduação, também é capaz de participar de forma ativa e efetiva nos processos de geração, produção, difusão, distribuição e comercialização de bens e serviços, fazendo interagirem os setores produtivos com as inovações tecnológicas e a realidade socioambiental (IEL, 2006).

Desse modo, deseja-se um profissional com capacidade de adaptação às demandas do mercado, que tenha capacidade de liderança, espírito empreendedor, habilidade de comunicação, conhecimento de áreas correlatas à engenharia, que possa gerenciar trabalhos em equipes, ou seja, que possua experiências prévias e capacidade de criar procedimentos que satisfaçam as empresas. Ainda, o engenheiro do século XXI deve estar preparado para novos desafios e, sua formação deve englobar estes temas que dominam cada vez mais as discussões mundiais, como as preocupações crescentes com as questões energéticas, uso consciente e racional de água e manutenção da sustentabilidade (CARMO *et al.*, 2010).

Uma das formas de incentivar os estudantes no seu processo de aprendizagem é através das atividades experimentais. Sua aplicação é tida, desde o princípio, como um fator de sucesso, dado o alto grau de satisfação dos estudantes perante essas atividades. Semakula e Liao (2006) afirmam que isso costuma criar no estudante mais interesse e entusiasmo do que outros tipos de atividades (ONGARATTO *et al.*, 2010).

No mais, outra base motivadora fundamental para o início deste trabalho é a educação ambiental, um tema transversal em todos os níveis de ensino e obrigatório segundo a Lei 9.795/99. Dessa maneira, os conceitos redução, reuso e reciclagem devem ser norteadores em atividades experimentais.

Sendo assim, o alinhamento do tema proposto, que foi a construção de máquinas térmicas com materiais recicláveis, com o perfil dos estudantes do curso de Engenharia de Produção pode ser feito tendo-se por base as seguintes afirmações:

A produção moderna de energia iniciou-se no século XVII com o emprego de vapor nas chamadas máquinas térmicas, desenvolvidas com intuito de bombear água das minas de carvão e, que posteriormente, foram substituindo rodas d'água e rotores eólicos em várias atividades industriais (PASSOS, 2009). Sendo assim, a capacidade de realizar trabalho está relacionada ao uso das primeiras máquinas térmicas, nas quais a energia química de combustíveis como a madeira era usada para a produção de vapor, que as movimentava (AMARAL; MORTIMER, 2008).

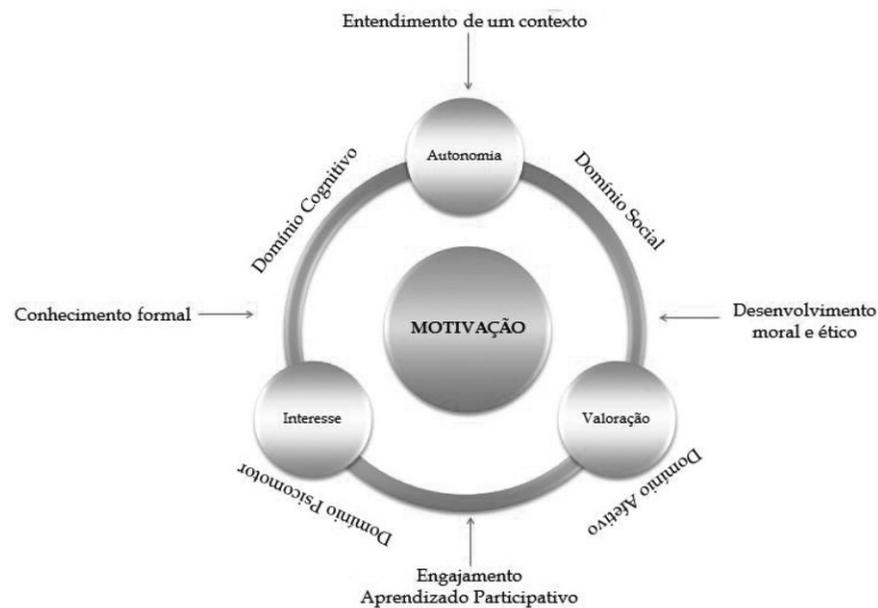
A redução, o reuso e a reciclagem de materiais é gerenciada pelo Engenheiro de Produção que é responsável pelo “[...] planejamento, implementação, verificação e o desenvolvimento de ações de melhorias da gestão ambiental envolvendo todas as áreas de uma empresa, visando desde implementação da gestão ambiental, bem como sua certificação, até melhorias de gestão de recursos naturais e energéticos, efluentes e resíduos, ecoeficiência, responsabilidade social e desenvolvimento sustentável [...]”, além da responsabilidade de tornar a gestão ambiental da empresa uma vantagem competitiva (MARQUES, 2014).

Tomando como base todo o aporte fornecido pela literatura a respeito da importância da autoconstrução do conhecimento pelos estudantes através do uso de atividades que façam uso de metodologias ativas, este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados alcançados por meio da realização de um projeto entre as disciplinas de Fundamentos de Termodinâmica e Engenharia e Ciência dos Materiais realizadas no ano de 2014, no curso de Engenharia de Produção, do Centro Universitário Padre Anchieta (UniAnchieta). No desenvolvimento deste projeto objetivou-se a confecção, por parte dos estudantes, de uma máquina térmica com materiais reutilizados/reciclados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Lattuca (2002) e Vanasupa *et al.* (2009) entendem que a educação de engenheiros deve associar fatores internos a fatores externos. Os fatores internos da aprendizagem compreendem os processos cognitivos (capacidade de processamento de informações) e psicomotores (habilidades adquiridas com práticas individuais) e podem ser associados com a visão tradicional de ensino de engenharia, com foco na área técnica, que exige muito estudo individual e desenvolvimento de método de trabalho. Já os fatores externos se relacionam às influências exercidas pelo meio de convivência dos estudantes, compreendendo os fatores social e afetivo, que podem ser entendidos como a nova demanda de mercado por engenheiros com visão crítica dos problemas e relação dos mesmos com os contextos sociais, econômicos e ambientais. A Figura 1 ilustra os 4 domínios de desenvolvimento de aprendizagem relatados por Vanasupa *et al.* (2009).

Figura 1 – Os quatro domínios do desenvolvimento da aprendizagem.



Fonte: Vanasupa *et al.* (2009).

Assim, para auxiliar no aprendizado, as metodologias de ensino devem permear estes domínios a fim de promover um aprendizado mais significativo dos diversos grupos de estudantes. Várias são as metodologias de ensino criadas e utilizadas na formação do engenheiro egresso que a sociedade carece. Estas metodologias, que podem ser denominadas metodologias ativas, tornam o aluno o construtor do seu próprio aprendizado, não possuem um modelo pronto de ensino, e torna o professor um direcionador da aprendizagem dos estudantes (ROSA; ROSA, 2012). Algumas das variações citadas por vários autores para este tipo de ensino são descritas a seguir:

- Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL – *Problem Based Learning*) que têm como objetivo fazer a transferência do ambiente educacional para o ambiente do “mundo real”, seguindo um ciclo com as seguintes características: (a) aprendizado a partir de problemas, questão ou cenário a ser investigado típico do “mundo real”, com caráter multidisciplinar e complexo, e que não possui apenas uma única resposta possível (b) formação de pequenos grupos de estudantes guiados por um facilitador (MACDONALD, 2002). Segundo Berbel (1998), a aprendizagem baseada em problemas deve passar por cinco etapas que se desenvolvem a partir da realidade ou um recorte da realidade: Observação da Realidade; Pontos Chave; Teorização; Hipóteses de Solução e Aplicação à Realidade (prática).
- Aprendizagem *hands-on* através do qual se pode fazer a ligação entre o ambiente real e o “mundo real” por meio da aplicação de conhecimentos teóricos na solução de problemas reais, produzindo inovações (IEL, 2006).
- Processo Iterativo de Aprendizagem por Descoberta que é considerada uma metodologia eficiente para a familiarização dos estudantes com os problemas da engenharia que envolve um ciclo de etapas de melhorias contínuas (HOTALING *et al.*, 2005).
- Aprendizado cooperativo, que Johnson (1999) entende como sendo um modelo que encoraja os estudantes no aprendizado de uns com os outros.
- Interdisciplinaridade através da qual as disciplinas adquirem maior flexibilidade e autonomia principalmente na produção de ciência e percepção da realidade, implicando numa troca entre especialistas de campos diferentes de conhecimentos na discussão de um assunto ou resolução de um problema, tendo em vista uma melhor compreensão da realidade (LIBÂNEO, 2001; PAVIANI, 2008).
- Aprendizagem significativa na qual o aluno também deve ser portador das informações na construção do seu aprendizado, ou seja, os conhecimentos prévios que os estudantes utilizam durante uma aula dialogada, tendo o professor apenas como um mediador tornam sua aprendizagem mais significativa (GUIMARÃES, 2009).

Ainda, o ensino por meio do desenvolvimento de projetos pode ser considerado um tipo de aprendizagem que faz uso de metodologias ativas, e tem sido aplicado nos sistemas educacionais principalmente por meio da realização de projetos integradores (TABALIPA, 2013). Através dessa metodologia é possível driblar a baixa capacidade de retenção de informações dos atuais estudantes, ultimamente tão informatizados e globalizados.

Essas metodologias estão alicerçadas na teoria de aprendizagem de Vygotsky (1984), na qual o desenvolvimento da aprendizagem ocorre pela apropriação de conteúdos por meio de intercâmbio social, ou seja, trocas de conhecimentos entre os sujeitos envolvidos, e com a teoria de Piaget (1991) que defende que a construção do conhecimento é um processo contínuo, construído a partir da interação do sujeito com o meio.

A aplicação de novas formas de metodologias de ensino pode esbarrar no fator institucional, pois sua implantação envolve recursos humanos, interesses institucionais, competências dos estudantes, questões culturais e outras questões sistêmicas (BIGGS, 2003). Entretanto, propostas desse tipo de ensino nas áreas de ciências exatas podem ser facilitadas, devido ao suporte do uso de laboratórios experimentais que são parte integrante dos currículos acadêmicos. Considerando este aspecto, o uso de kits didáticos, como LEGO, massa de modelar, jogos de átomos, jogos de simulação, pontes de macarrão ou de jornal, podem auxiliar na aprendizagem dos estudantes, pois oferecem uma simulação prática de erros não imaginados teoricamente (BOESING *et al.*, 2008).

A aplicação de metodologias ativas de ensino inicia-se no formato PBL no curso de graduação em Medicina Veterinária na década de 1950, e rapidamente é desenvolvida e aprimorada em escolas do Canadá e da Holanda (NEWMAN, 2005). Posteriormente, outros cursos da área de saúde também começaram a fazer uso dessa e de outras formas de metodologias ativas, o que levou ao desenvolvimento de particularidades e vários ramos de aplicação e denominações diferentes para cada variação (BERBEL, 1998).

Na área de engenharia, muitas são as ações voltadas à melhoria da qualidade de ensino. Xiangyun e Stojcevski (2009) desenvolveram o método PBL para engenharia na Universidade de Victoria, Melbourne – Austrália, onde o “P” significa mais que aprendizagem baseada em problema. Ele define aprendizagem baseada em Problema/Projeto/Prática (P3BL), onde o *Problem* é aplicado a alunos ingressantes, o *Project* a alunos do 2º e 3º anos com comunidade e ou empresas e o *Practice* com alunos de 4º e 5º com empresas.

No Brasil algumas instituições criaram disciplinas e/ou cursos inteiros que utilizam metodologias ativas. O curso de Engenharia Biomédica da PUC-SP foi concedido com atividades que utilizam a metodologia PBL, onde a organização da estrutura curricular, o perfil dos tutores, o processo e os instrumentos de avaliação e a análise da primeira avaliação do curso, foram os principais desafios que a equipe de implementação do processo encontrou (CAMPOS *et al.*, 2009).

O professor Messias Borges Silva tem estudado e aplicado metodologias ativas tais como: Peer Instruction, desenvolvido pelo professor Eric Mazur na *School of Engineering And Applied Sciences* na Harvard University, que mescla participação ativa dos alunos com mediação das aulas e transmissão de conhecimento pelo professor. O método consiste em solicitar que os alunos leiam um texto-base da matéria, respondam e entreguem previamente ao professor algumas questões referentes ao entendimento qualitativo do material. Em sala, o professor faz pequenas exposições baseadas nas dúvidas detectadas e em seguida lança uma questão sobre o assunto para que os alunos a respondam individualmente. Se o índice de acerto fica acima de 70%, o professor apresenta a definição correta a todos e passa ao próximo tópico. Se for menor que 70%, o professor pede para os alunos discutirem entre eles e responderem novamente; e o TEAL (*Technology Enable Active Learning*), recentemente aplicado pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), método que aposta na interatividade e está sendo desenvolvido pelo grupo de Peter Dourmashkin, professor sênior do Departamento de Física. Nesse método, existe uma sala multimídia para aprendizagem, no qual os alunos são divididos em grupos de 7 a 10 estudantes, telões multimídias são espalhados em diversos espaços da sala, a lousa reveste os quatro cantos da sala, permitindo a movimentação do professor e monitores auxiliam discussão dos assuntos pelos grupos de estudantes. Salas desse tipo estão em funcionamento em diversas instituições brasileiras, como a USP-Lorena, as Fatecs, a UNISAL e Universidade São Francisco (SILVA, 2015).

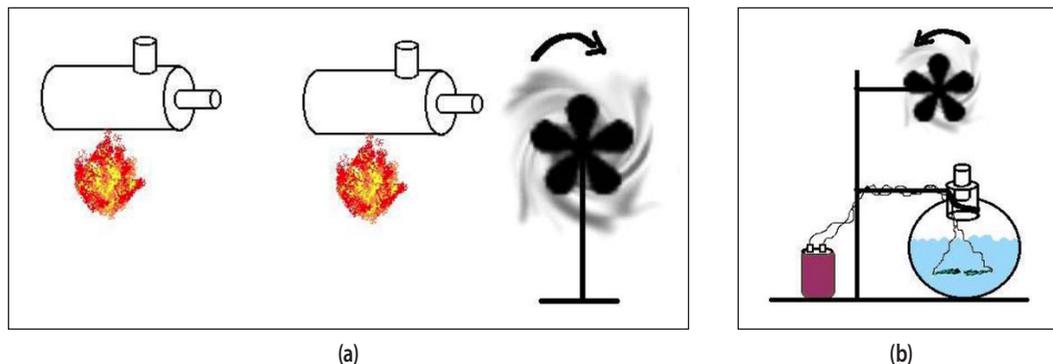
Em ambas as metodologias os assuntos tratados são teóricos. Metodologias práticas na forma de projetos integradores ou interdisciplinares também têm sido desenvolvidas, na qual um professor propõe um problema prático, típico do cotidiano do ambiente de trabalho em engenharia para ser resolvido. Um exemplo é a construção de uma torre de resfriamento de bancada que envolve os alunos do curso de Engenharia de Alimentos da UFRGS, matriculados na disciplina Operações Unitárias, na qual podem ser analisadas a fundo três variáveis: vazão, temperatura da água a ser resfriada e diferentes recheios da torre (ONGARATTO *et al.*, 2010).

Outro exemplo de sucesso relatado por Fernandes (2013) foi o projeto interdisciplinar com a proposta de montagem de um sistema de resfriamento evaporativo do ar. O projeto foi executado por alunos do quinto semestre de Engenharia de Automação e Controle, matriculados nas disciplinas Fenômenos de Transporte, Materiais, Sinais e Sistemas Lineares, Acionamentos Elétricos, Mecânica dos Sólidos e Medição de Grandezas Mecânicas, no qual todas as disciplinas tiveram influência no produto final apresentado pelos alunos em um evento promovido pela instituição.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho foi realizado entre os meses de março e abril de 2014 e aplicado a 130 estudantes matriculados no 5º semestre do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Padre Anchieta, que frequentavam as disciplinas Fundamentos de Termodinâmica e Engenharia e Ciência dos Materiais. No desenvolvimento do trabalho, inicialmente, foram apresentadas aos estudantes as Figuras 2a e 2b, durante uma aula de Engenharia e Ciência dos Materiais, segundo as quais, os estudantes foram orientados a, no período de um mês, apresentar uma máquina térmica que fosse capaz de fazer uma hélice se mover por meio da geração de vapor. Para tanto, todos os materiais utilizados na construção da máquina deveriam ser reutilizados ou reciclados. Durante essa aula, os estudantes responderam a um questionário prévio (Figura 2), composto por questões objetivas que visaram conhecer a importância que davam às disciplinas e suas inter-relações com seu processo de formação.

Figura 2 – (a) Modelo A de protótipo do sistema baseado no uso de um Bico de Bunsen e (b) modelo B baseado no uso de uma resistência elétrica.



Fonte: Grupo Escolar (2014).

Além das figuras, os estudantes receberam as informações presentes na Quadro 1.

Quadro 1 – Informações dadas aos estudantes a respeito da parte prática do projeto.

A. Materiais	Os estudantes deverão indicar os materiais que utilizarão no experimento com uma semana de antecedência aos professores responsáveis pelas disciplinas (se houver necessidade).
B. Procedimento Experimental	<p>1. Montar um sistema que seja capaz de gerar vapor de água. As fontes de aquecimento podem ser via bico de Bunsen ou resistência elétrica. Atentar para o fato de que a geração de vapor deve sair do sistema num fluxo controlado.</p> <p>2. Utilizar o vapor gerado para mover uma hélice. Obs.: Seria interessante utilizar diversos materiais na confecção da hélice a fim de verificar qual sistema é o melhor para a geração de trabalho. (Sugestão: os grupos podem combinar entre si a confecção de diferentes modelos de hélice e trocarem durante a execução do experimento).</p>

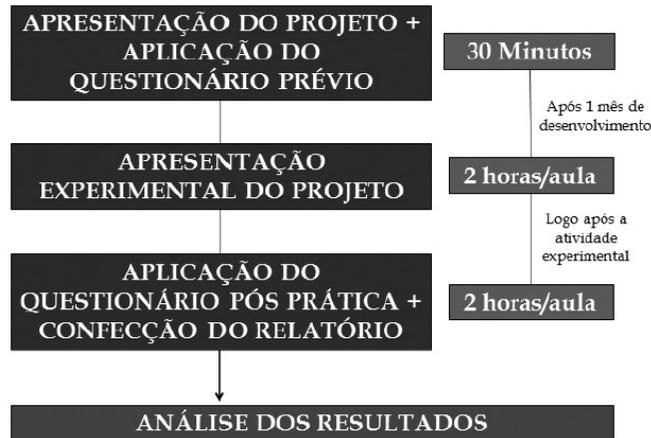
A avaliação da atividade foi realizada através da observação do funcionamento prático da máquina térmica construída por cada grupo pelos professores responsáveis pelas disciplinas e, através da elaboração de um pequeno relatório, baseado nas respostas às perguntas apresentadas na Quadro 2.

Quadro 2 – Questões modelo para a confecção do relatório disponibilizadas para os estudantes.

<p>1 – Quais foram os materiais reciclados que vocês utilizaram na confecção do aparato de geração de vapor? Como vocês adquiriam esses materiais? Envie uma foto do aparato montado para o e-mail *elaine.marques@anchieta.br.</p> <p>2 – Houve a necessidade de ajustes no experimento? Se você não conseguiu fazer o protótipo funcionar, comente sobre o que mais você poderia ter feito para melhorá-lo.</p> <p>3 – Comente sobre a hélice que você utilizou neste experimento. Poderia ter sido feito de outro material? O que é importante na sua confecção?</p> <p>4 – Aponte possíveis parâmetros que poderiam ter sido explorados neste experimento. Por exemplo: haveria alguma maneira de determinar a quantidade de vapor formada nesse procedimento? E a quantidade de trabalho gerada? A velocidade de giro da hélice? Como esses parâmetros poderiam ser determinados?</p>
--

A fim de avaliar se os estudantes conseguiriam observar a inter-relação entre as disciplinas envolvidas e o projeto apresentado no seu processo de formação, questões pós-atividade prática também foram aplicadas. A Figura 3 apresenta o fluxograma e tempo de aplicação/desenvolvimento do projeto.

Figura 3 – Fluxograma e tempo de aplicação do projeto.

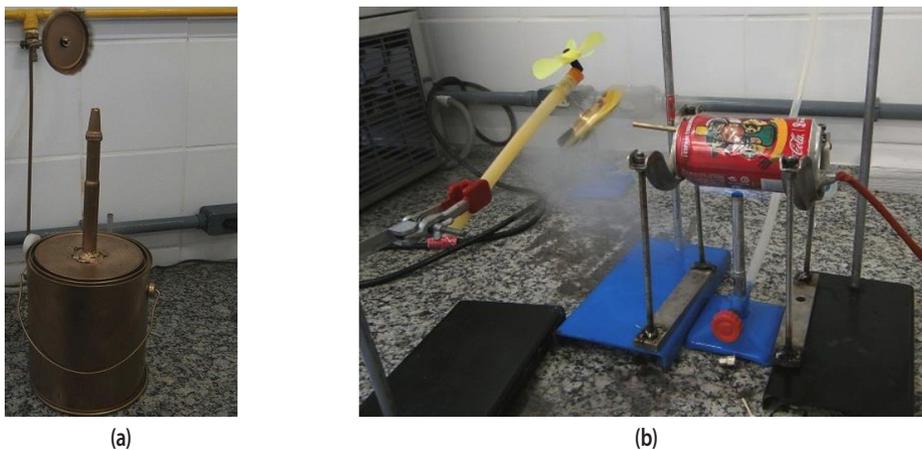


Fonte: Elaborado pelos autores (2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado experimental do que foi proposto aos estudantes foi além das expectativas iniciais. Com estudantes atuantes em indústrias, a fabricação dos protótipos foi facilitada e bem elaborada por alguns grupos. No decorrer do período de um mês, antes da apresentação do protótipo, vários grupos de alunos conversaram com os professores envolvidos a fim de tirar dúvidas sobre a construção ou teoria envolvidas no projeto. Apenas dois trabalhos apresentados num total de 28 trabalhos não tiveram êxito nem mesmo após a realização de ajustes. Na Figura 4 vemos dois exemplos de trabalhos apresentados e em funcionamento.

Figura 4 – Fotografias de duas máquinas térmicas apresentadas pelos estudantes.



Fonte: Arquivo dos autores (2014).

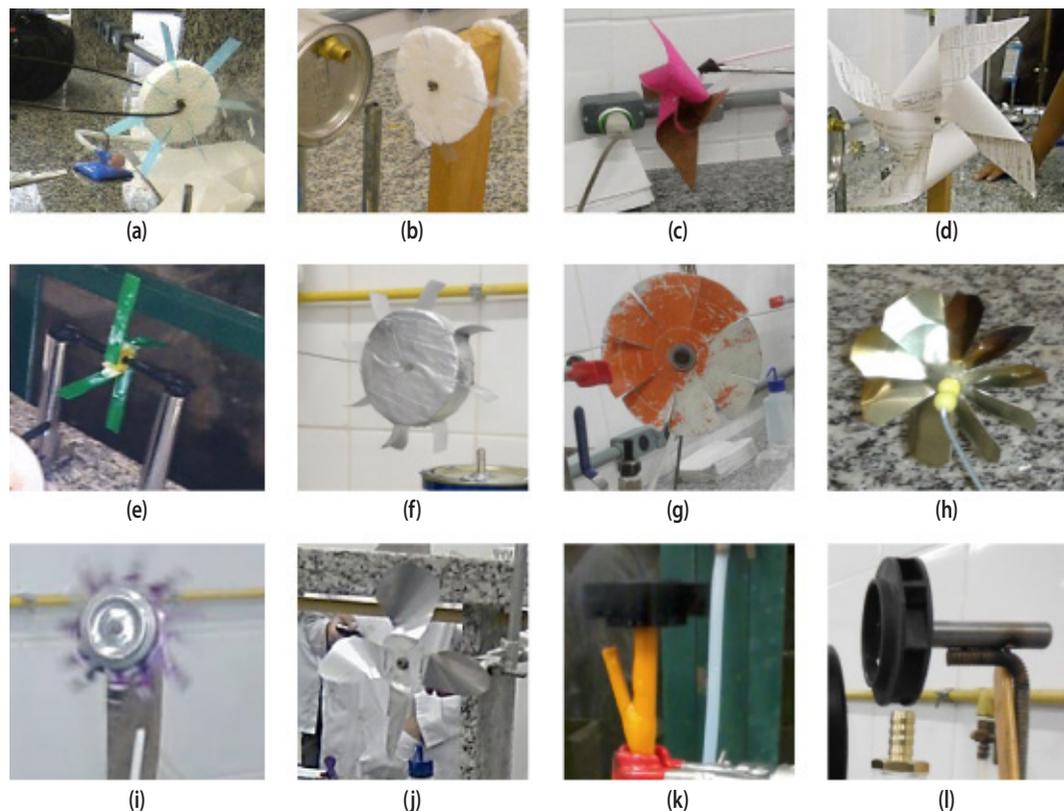
Nas Figuras 4a e 4b observamos que a construção das máquinas necessitou de conhecimentos em soldagem, e de técnicas de pintura para a máquina da Figura 4a. Nesse sentido, Guimarães (2009) diz que o uso de conhecimentos prévios dos estudantes na construção de um novo conhecimento torna a aprendizagem mais significativa.

Ambos os protótipos foram preparados para funcionarem com uso de resistência elétrica, entretanto, o uso de uma resistência para 220 V fez com o que a máquina da Figura 2b operasse em apenas metade de sua potência total, fazendo com os estudantes adaptassem o sistema para o uso do bico de Bunsen, originando um resultado bastante satisfatório, com a geração de grande quantidade de vapor. A necessidade de alteração do projeto fez alguns estudantes perceberem que a prática e a teoria convergem, mas que a prática sempre necessita de melhoria contínua.

Em ambas as máquinas percebe-se o uso de materiais recicláveis ou reaproveitáveis e de maneira geral, todos os trabalhos compuseram-se essencialmente destes tipos de materiais.

Para a confecção do sistema gerador de vapor havia a necessidade de utilizar materiais que suportassem a temperatura de vapor da água, sendo utilizados, portanto, na grande maioria, latas de materiais metálicos, como aço, folha de flandres e latas de alumínio. Já para a confecção das hélices (Questão 3, Tabela 2), houve preocupação dos estudantes quanto à massa (“[...] utilizar um material mais leve e resistente à umidade”), capacidade de giro (“[...] ter menos atrito com o eixo”), tamanho e formato da mesma (“[...] as inclinações das hélices são importantes para o sucesso do trabalho”), resultando na confecção de muitos modelos diferentes de hélices, algumas delas presentes na Figura 5.

Figura 5 – Fotografias dos diversos modelos de hélices confeccionadas pelos estudantes.

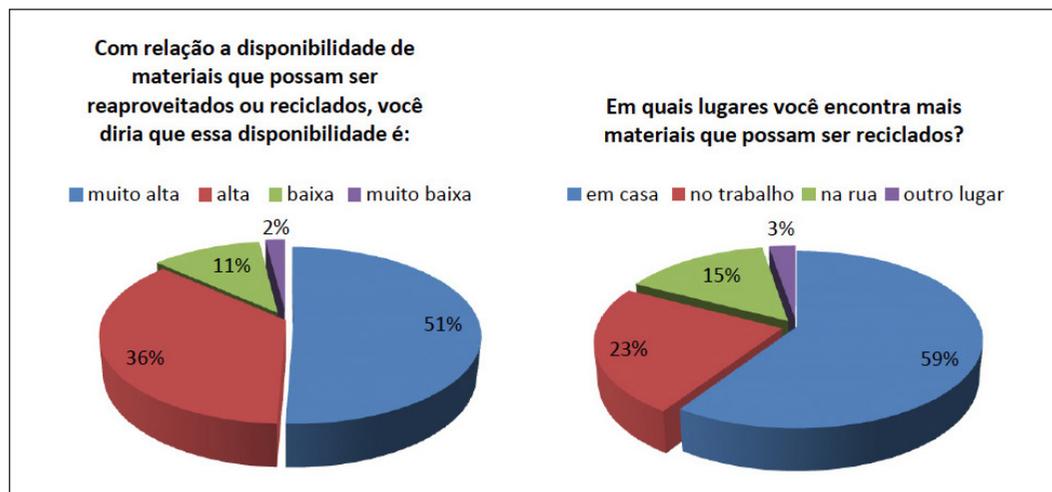


Fonte: Arquivo dos autores (2014).

Observa-se na Figura 5 grande variedade de materiais utilizados na confecção da hélice, como papel, isopor, papel alumínio, lata de alumínio, prendedor de roupa, disco de metal, PET cortado em tiras e borracha. Alguns grupos reaproveitaram hélices prontas retiradas das empresas em que trabalham (Figuras 5k e 5l).

A respeito dos relatórios apresentados pelos estudantes (Questão 1, Quadro 2), a maioria afirmou que conseguiu os mais diversos materiais no lixo doméstico e alguns grupos, cerca de 20%, afirmaram terem adquirido um ou mais materiais através de sobras das empresas em que trabalham. Esse dado corrobora com as respostas dadas pelos estudantes no questionário prévio apresentadas na Figura 6a e b referentes às suas considerações quanto à disponibilidade e onde encontrar os materiais para o projeto.

Figura 6 – Respostas prévias dos estudantes com relação à disponibilidade dos materiais para o projeto.



Fonte: Elaborado pelos autores (2014).

Podemos observar nas Figuras 6a e b que 87% dos estudantes consideram alta ou muito alta a disponibilidade de se encontrar materiais que possam ser reaproveitados ou reciclados e a maioria (59%) considera que a maior fonte de material reciclável é o lixo gerado em casa. De fato, o reaproveitamento/reciclagem do lixo doméstico é um problema urgente a ser resolvido, não só pela necessidade de atendimento a Lei 12305/10 que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos no país, mas também pela urgência de atendimento aos conceitos de sustentabilidade (MARQUES, 2014).

Quanto à necessidade de ajustes nos experimentos (Questão 2, Quadro 2), 32% dos estudantes afirmaram que não foi necessário nenhum tipo de ajuste, 7% dos protótipos não funcionaram nem mesmo após alterações. Porém, para a maior parte dos estudantes, 60%, houve necessidade de realizar alterações no protótipo para que o aparato funcionasse. Entre as alterações realizadas destacam-se: necessidade de maior proximidade da fonte de calor com a água ou troca de fonte (álcool ou gás butano); inserção de um parafuso na saída de vapor para tornar seu fluxo direto; troca da hélice por outra emprestada de outro grupo confeccionada de outro material, tamanho ou forma; necessidade de diminuir a distância entre o vapor de água produzido e a hélice; ineficiência da cola

(epóxi) utilizada para a saída do vapor ou vedação da tampa, que degradava com a temperatura de vapor da água; alteração de lugar da apresentação devido à presença de corrente de ar externa. Vale ressaltar que as alterações necessárias no protótipo deram oportunidade de investigação, e os professores puderam atuar de maneira inquisitiva junto aos estudantes, perguntando sempre “Por que não funcionou?” e “Como melhorar?”. Segundo Mitre *et al.* (2008) as metodologias ativas utilizam a problematização como estratégia de ensino/aprendizagem, com o objetivo de alcançar e motivar o aluno, pois diante do problema, ele se detém, examina, reflete, relaciona a sua história e passa a ressignificar suas descobertas, isso porque trabalhar na resolução de problemas de sua área pode envolver o aluno no seu próprio processo de formação. Para Santos e Schnetzler (2003, p.33), “[...] o professor necessita trazer problemas e estimular o debate, afim que os estudantes possam discutir os diferentes tipos de soluções” e afirmam ainda, que as respostas dos estudantes devem ser valorizadas.

Quando os professores perguntaram que parâmetros poderiam ser explorados com o experimento de cada um deles (Questão 4, Quadro 2), algumas respostas interessantes foram colocadas. Seguem as transcrições de algumas respostas dos estudantes:

“A frequência é medida através da velocidade com que o cata-vento gira. Poderíamos conseguir um resultado diferente com a variação de calor, causando mais trabalho. Outra possibilidade seria a variação da saída de vapor, pois quanto menor é área, maior é a velocidade com o que o vapor atinge o cata-vento”.

“Conseguimos medir a quantidade de giro do cata-vento, colocando uma hélice de cor diferente, filmando em câmera lenta e marcando o tempo”.

“A partir do volume [de água] colocado na latinha é possível saber a quantidade de vapor formado para movimentar o cata-vento, pois a partir do volume específico, sabemos a quantidade de vapor formado. Para verificar o trabalho, utilizamos três palitos de fósforo totalizando 0,31 g, que foi o suficiente para mover o cata-vento. A força foi de $F = m \cdot g$, $F = 3,1 \times 10^{-4} \times 10 = 3,1 \times 10^{-3}$ N. Sendo que $\tau = F \cdot d$ ($F = 3,1 \times 10^{-3}$ N; $d = 0,07$ m); $\tau = 3,1 \times 10^{-3} \times 0,07 = 2,17 \times 10^{-4}$ J. Para calcular a velocidade de giro, teríamos que achar a frequência, o que não foi possível”.

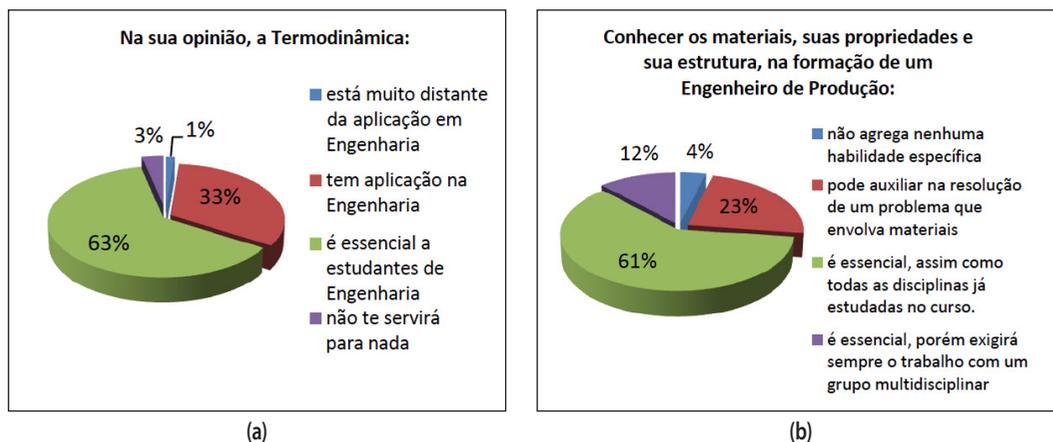
“A velocidade de giro: $200/60$ segundos = 3,33 rotações por segundo”.

Este trabalho não deseja se prender à certeza de acerto ou não dos cálculos e parâmetros ressaltados pelos estudantes, mesmo porque cada protótipo apresentou muitas variáveis que podem influenciar nos cálculos, como, quantidade de energia química produzida, perda de energia devido às propriedades dos materiais utilizados, quantidade de água, distância percorrida pelo vapor, diâmetro do fluxo do vapor, velocidade do vapor, atrito de giro da hélice, disposição da hélice frente ao fluxo de vapor, etc. O interessante, na avaliação dos professores, foi a grande quantidade de informações que os estudantes conseguiram extrair do experimento. Desta forma, os estudantes puderam vincular os saberes escolares com certa linguagem científica com os saberes da experiência, expressas pela linguagem cotidiana (MORTIMER; VIEIRA, 2010). No mais, alguns conceitos importantes foram salientados pelos estudantes tanto ao que se refere ao não funcionamento/adaptação do protótipo quanto ao envolvimento de novos conceitos, não pensados anteriormente, entre eles:

- Através da observação do funcionamento da máquina térmica do seu próprio grupo e dos outros grupos, os estudantes perceberam que a velocidade do giro da hélice era diferente para cada protótipo, fazendo-os sugerirem a necessidade da incorporação de um medidor de RPM à máquina térmica para trabalhos futuros;
- Necessidade de incorporação de um medidor de pressão para alguns experimentos;

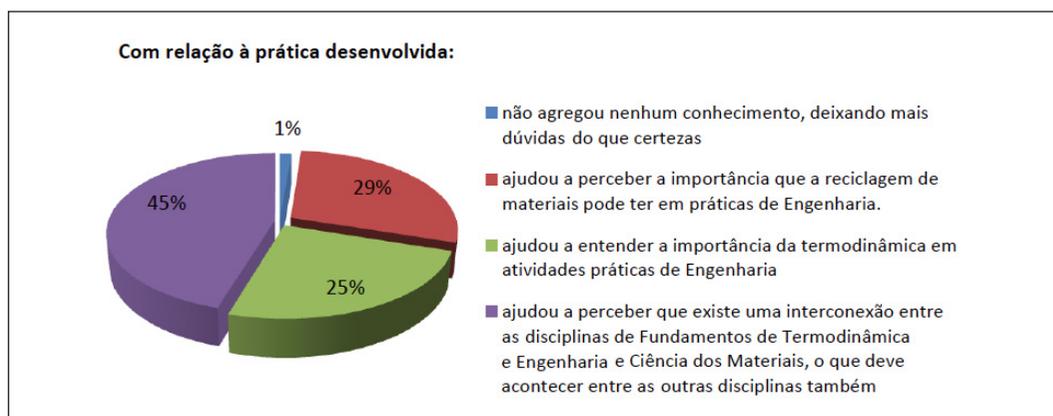
A aplicação dos questionários pré e pós-aula prática se mostrou uma interessante ferramenta a fim de observar a importância que os estudantes davam às disciplinas. Nas Figuras 7a e b podemos observar que antes da aplicação da atividade, os estudantes já davam importância às disciplinas, mas com a realização da atividade, 45% puderam correlacionar as duas disciplinas ao assinalarem que percebem que existe uma interconexão entre as mesmas e que essa característica deve se repetir em outras disciplinas, Figura 8.

Figura 7 – Respostas prévias dos estudantes com relação às disciplinas envolvidas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2014).

Figura 8 – Respostas pós-atividade experimental dos estudantes com relação às disciplinas envolvidas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2014).

Essa inter-relação mostra que a interdisciplinaridade foi importante na execução deste trabalho, pois aproximou os conteúdos das disciplinas e levou a um maior interesse dos estudantes que, ao longo do período estipulado para o desenvolvimento do aparato, trocaram várias informações com os colegas e as docentes. Sobre este assunto, Jandl Jr. (2013) diz que a interdisciplinaridade deve ser encarada “[...] como forma de reinvenção da prática educativa em favor da redução da fragmentação do conhecimento” e que “[...] solicita planejamento cuidadoso, esforço coordenado, acompanhamento e avaliação contínuos”.

Os estudantes ainda responderam se achariam interessante repetir esse tipo de aula prática. 92% dos estudantes afirmaram que seria interessante e que esse tipo de atividade deveria ser aplicado uma vez por mês, Figura 10, deixando claro que esse tipo de atividade no qual o aluno é construtor do seu próprio aprendizado é bem aceito pelos mesmos.

Figura 10 – Respostas pós-atividade experimental dos estudantes com relação à periodicidade de outras práticas desse tipo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2014).

Para finalizar, os estudantes deveriam deixar um comentário propondo uma melhoria para a atividade realizada. Algumas respostas são transcritas a seguir:

“Sugiro que façamos mais aulas práticas para melhor absorção do conhecimento.”

“Penso que poderíamos também fazer testes não só com o calor, mas também com água, hidroelétrica.”

“[Sugiro] uma preparação dos estudantes para o laboratório com os cálculos de alguns parâmetros para preenchimento do relatório.”

“[Sugiro] entregar um projeto para cada equipe para que possa ser desenvolvido de maneira diferente.”

O engajamento do aluno em relação a novas aprendizagens, pela compreensão, pela escolha e pelo interesse, é condição essencial para ampliar suas possibilidades de exercitar a liberdade e a autonomia na tomada de decisões em diferentes momentos do processo que vivência, preparando-se para o exercício profissional futuro. Dessa maneira, o uso do projeto interdisciplinar aqui descrito, que se baseia na prática pedagógica de metodologias ativas se mostrou eficiente na promoção de uma aprendizagem mais significativa, à medida que diminuiu o caráter superficial, mecânico e repetitivo das aulas tradicionais, mesmo das práticas de laboratório baseadas na sequência de procedimentos, que segundo Giordan (1999) não ativam o conhecimento do aluno, e promoveu o desenvolvimento da autonomia do aluno no seu próprio processo de construção do conhecimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do projeto desenvolvido com os estudantes, algumas considerações podem ser feitas. O visível interesse dos estudantes na realização do projeto é uma característica muito importante no processo de aprendizagem e foi alcançada através do uso de metodologia ativa aplicada, que resultou numa aprendizagem significativa baseada no aproveitamento dos conhecimentos prévios dos estudantes.

Os grupos tiveram a necessidade de maior relacionamento entre os membros para divisão dos trabalhos, busca de materiais, montagem e funcionamento do protótipo. Durante a apresentação dos trabalhos criou-se um ambiente de rivalidade participativa e de expectativa entre os grupos que prestavam atenção ao seu trabalho e a dos colegas com o interesse e o desejo de ver os trabalhos em funcionamento. Quando alguns dos protótipos não funcionaram, os outros grupos também deram suas contribuições com criatividade no sentido de ajudar os colegas a resolverem seus problemas, caracterizando, portanto, um ambiente de cooperação muito importante nas atividades diárias de um futuro Engenheiro de Produção. A questão ambiental, trabalhada dentro da interdisciplinaridade, também é importante na formação dos engenheiros e pôde ser vivenciada na prática realizada.

As discussões geradas durante a análise dos parâmetros que puderam se retirados dos projetos mostraram a necessidade de alterações para uma próxima aplicação, que deve caminhar para a aprendizagem baseada em projetos, de maneira a possibilitar maior proximidade da teoria com a prática. Sendo assim, recomenda-se a entrega prévia de um projeto para a máquina térmica em papel ou computador e, a apresentação em forma de seminário dos conteúdos teóricos que explicam o funcionamento do protótipo. Essas ações poderão também resgatar conteúdos de disciplinas anteriormente cursadas, como física, fenômenos de transporte, química, desenho, etc.

A realização do projeto contribuiu para o entendimento de que a ação pedagógica deve estar vinculada à geração de ideias, já que os futuros engenheiros terão papel fundamental nas inovações tecnológicas e não podem ter receio de novas atividades. No que se refere ao uso de metodologias ativas, este trabalho abre um leque de oportunidades que vai desde as melhorias que foram propostas pelos estudantes, passando pelo trabalho com variáveis que podem ser colhidas durante a execução da atividade prática, aproximando-se com o trabalho descrito por Ongaratto *et al.* (2010),

podendo culminar na abertura à participação de outras disciplinas, transformando o projeto interdisciplinar em projeto integrador, como relatado por Fernandes (2013), na qual a disciplina de Termodinâmica seria a disciplina modular ou integradora. Ademais, pode permitir a resolução dos problemas encontrados ou a geração de novos problemas em disciplinas específicas do curso de Engenharia de Produção, como, por exemplo: No que a gestão de projetos poderia contribuir com a minimização de erros encontrados durante a execução deste projeto? Quais foram os custos para a montagem da máquina térmica e quais custos são intrínsecos do processo de reaproveitamento/reciclagem dos materiais?

Por fim, a aplicação do projeto já se mostrou relevante por viabilizar os seguintes aspectos: maior interação entre os professores envolvidos, inovação nas disciplinas, possibilidade de retomada e aperfeiçoamento dos protótipos visando melhoria contínua, promoção de maiores parcerias entre os estudantes e professores, reuso de conhecimentos outrora adquiridos, participação do aluno no seu próprio processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. O. F.; MORTIMER, E. F. **Quanto mais quente melhor** – calor e temperatura no ensino de termoquímica. *Química Nova na Escola*, n. 7, p. 30-34, 2008.

BERBEL, N. N. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos? *Interface - Comunicação, Saúde, Educação*, v. 2, n. 2, p. 139-154, 1998.

BIGGS, J. **Teaching for quality learning at university**. 2. ed. Maidenhead: The Open University Press and SRHE, 2003.

BOESING, I. J.; ROSA, J. A.; JUNG, C. F.; SPORKET, F. Desenvolvimento de competências na formação do engenheiro de produção: uma contribuição a partir do ensino de física. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, n. 4, p. 89-100, 2008.

CAMPOS, L. C.; MANRIQUE, A. L.; DIRANI, E. A. T. Desafios na implementação do curso de engenharia biomédica em PBL na PUC-SP. *In: III COMCOM - CONGRESO MUNDIAL SOBRE LAS COMPETÊNCIAS LABORALES*. 2009, Bogotá, Colômbia. **Anais... III COMCOM**. Bogotá, Colombia, 2009.

CARMO, B. B. T; BARROSO, S. H. A.; ALBERTIN, M. R. Aprendizagem discente e estratégia docente: metodologias para maximizar o aprendizado no curso de engenharia de produção. **Produção online**, v. 10, n. 4, p. 779-817, 2010.

FERNANDES, B. L. Projetos Interdisciplinares: Aprendizagem Baseada Em Problemas (PBL). *In: XLI COBENGE - CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA*, Gramado, Rio Grande do Sul, 2013. **Anais... XLI COBENGE**, Gramado, RS, 2013.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, n. 10, p. 43-49, 1999.

GRUPO ESCOLAR. **As leis da termodinâmica**: Princípio da Máquina a Vapor. 2009. Disponível em: <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/as-leis-da-termodinamica.html>>. Acesso em: 29 maio 2013.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 3. p. 198-202, 2009.

HOTALING, L.; SHERYLL, R.; STO LKIN, R. Discovery based learning in the engineering classroom using underwater robotics. *In: American Society for Engineering Education mid-Atlantic Regional Conference, 2005, Toms River. Anais...* Toms River: ASEE, 2005.

IEL - Instituto Euvaldo Lodi. **Inova Engenharia**: propostas para a modernização da educação em engenharia no Brasil. Brasília: IEL.NC/SENAI.DN, 2006. Disponível em: <http://www.geste.mecanica.ufrgs.br/francis/intengmec/INOVA_ENGENHARIA.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2014.

JANDL Jr, P. [Multi, Pluri, Inter, Trans] disciplinaridade. *In: RODRIGUES, J.G. (Org.). Múltiplos olhares na construção do conhecimento*. Jundiaí: InHouse, 2013, p. 306-312.

JOHNSON, P. A. Problem-based, cooperative learning in the engineering classroom. **Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice**. v. 1, p. 8-11, 1999.

KIRSCHNER, P. A. Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. **Learning and Instruction**, n. 12, p. 1-10, 2002.

LATTUCA, L. Learning interdisciplinary: Socialcultural perspectives on academic work. **The Journal of Higher Education**, v. 73, p. 711-739, 2002.

LIBÂNEO, J. C. **Adeus professor, Adeus professor? Novas exigências educacionais e profissão docente**. 5ª Ed. São Paulo: Cortez, 2001.

MACDONALD, R. **Applying PBL in Computing**: Potential and Challenge. Keynote Address, Edge Hill, Ormskirk, 2002.

MARQUES, E. C. Breve panorama da aplicação do “desenvolvimento sustentável” na Gestão Ambiental das empresas. *In: RODRIGUES, J. G. (Org.). Múltiplos olhares na construção do conhecimento*. Jundiaí: InHouse, v. 4, p. 106-113, 2013.

MITRE, S. M. I; SIQUEIRA-BATISTA, R.; MENDONÇA, J. M. G.; MORAIS-PINTO, N. M.; MEIRELLES, C. A. B.; PINTO-PORTO, C.; MOREIRA, T.; HOFFMANN, L. M. A. Metodologias ativas de ensino-aprendizagem na formação profissional em saúde: debates atuais. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 13, p. 2133-2144, 2008.

- MORTIMER, E. F.; VIEIRA, A. C. F. As Chamas e os Cristais Revisitados: estabelecendo diálogos entre a linguagem científica e a linguagem cotidiano no ensino das ciências da natureza. *In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, Otavio Aloísio (Org.). Ensino de Química em Foco*. Editora Injuí, p. 180-207, 2010.
- NEWMAN, M. J. Problem Based Learning: An Introduction and Over view of the Key Features of the Approach. *Journal of Veterinary*, v. 32, n. 1, p. 12-20, 2005.
- ONGARATTO, R. S.; SARKISB, J. R.; RECH, R. Construção de uma torre de resfriamento de bancada para o ensino de operações unitárias. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 29, n. 2, p. 27-34, 2010.
- PASSOS, J. C. Os experimentos de Joule a primeira lei da termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 3, p. 3603-3608, 2009.
- PAVIANI, J. **Interdisciplinaridade: conceitos e distinções**. 2. ed. Caxias do Sul: Educs, 2008.
- PIAGET, J. **Seis estudos da psicologia**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991.
- ROSA, C. T. W.; ROSA, A. B. Aulas experimentais na perspectiva construtivista: proposta de organização de roteiro para aulas de física. *Física na Escola*, v. 13, n. 1, 2012.
- SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. 3ª. ed. Ijuí: Unijuí, 2003.
- SEMAKULA, M.; LIAO, G. Hands-on manufacturing processes laboratory for future production supervisors. *World Transactions on engineering and Technology Education*, v. 5, n. 3, p. 397-400, 2006.
- SILVA, M. Como as coisas estão sendo feitas lá fora/ As experiências de metodologias ativas no Brasil. *In: USF – Oficina pedagógica de Metodologias Ativas* (palestra). 29 de jan. 2015.
- TABALIPA, A. R. Projeto Integrador: A busca de uma solução. *In: RODRIGUES, J. G. (Org.). Múltiplos olhares na construção do conhecimento*. Jundiaí: InHouse, 2013, p. 54-57.
- VANASUPA, L.; STOLK, J.; HERTER, R. J. The four-domain development diagram: a guide for holistic design of effective learning experiences for the twenty-first century engineer. *Journal of Engineering Education*, v. 98, n. 1, p. 67-81, 2009.
- VYGOTSKY, L. S. **A Formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.
- XIANGYUN, D.; STOJCEVSKI, A. **Educational Innovation–Problem–Project– Practice Approaches in Engineering Education**. 1st Ibero-American Symposium on Project Approaches for Engineering Education – PAEE2009, Braga, Portugal, 2009.

