

APRENDENDO COM AVIÕES DE PAPEL: METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEARNING WITH PAPER AIRCRAFT: ACTIVE METHODOLOGIES IN
EDUCATION IN PRODUCTION ENGINEERING

Marcelo Battesini,¹ Ana Lúcia Souza Silva Mateus²

RESUMO

As práticas docentes adotadas interferem no processo e nos resultados de aprendizagem. Este artigo tem o objetivo de avaliar os resultados da implantação de aprendizado baseado em problemas e em projetos na disciplina de Projeto de Experimentos de um curso de Engenharia de Produção, em uma instituição de ensino superior pública. A investigação se valeu de um estudo de caso único, que aplicou ferramentas quantitativas e adotou como procedimento de coleta a pesquisa de levantamento. A dinâmica metodológica utilizada é descrita em detalhes, com ênfase em um conjunto de cinco problemas sequenciais e inter-relacionados coletivamente, denominados de “Aprendendo com aviões de papel”. O planejamento experimental, sequencialmente implementado, foi um projeto fatorial completo, aleatorizado com quinze repetições e três fatores controláveis (tipo de papel, tamanho do papel e tipo de avião), e oportunizou ilustrar a identificação de um ajuste ótimo para a situação não trivial, na presença de interação tripla entre fatores na ANOVA. Em relação ao experimento, concluiu-se que o melhor ajuste é construir aviões que percorrem a maior distância linear, utilizar papel jornal, do tamanho A5 e o tipo de avião 3. As vantagens caracterizadas na literatura foram percebidas na avaliação do aprendizado realizada, destacando-se o grande percentual de frequência às aulas (92,1%), a alta avaliação do docente (9,59) e o nível de aprendizado similar às outras quatro ocorrências da disciplina em anos anteriores (nota média 8). Resultados positivos que envolvem um aprendizado institucional e estimulam o prosseguimento do uso de metodologias ativas em ocorrências futuras da disciplina.

Palavras-chave: Metodologia Ativa de Aprendizagem; Engenharia de Produção; Projeto de Experimentos.

ABSTRACT

The teaching practices adopted interfere in the process and in the learning outcomes. This paper aims to evaluate the results of the implementation of problems and projects-based learning of Design of Experiments discipline in a course of Production Engineering course, at a public higher education institution. The research was based on a single case study, which applied quantitative tools and adopted as survey procedure survey. The methodological dynamics used is described in detail, with emphasis on a set of five sequential and interrelated problems collectively termed learning from paper airplanes. The sequential experimental design was a randomized complete factorial design with 15 replicates and three controllable factors (paper type, paper size and airplane type) allowed to illustrate the identification of an optimal fit for the nontrivial situation in the presence of triple interaction between factors at ANOVA. In relation to the experiment, it was concluded that the best fit is to build airplanes that travel the longest linear distance using paper size A5 and airplane type 3. The advantages characterized in the literature were perceived in the learning evaluation carried out, highlighting the

¹ Professor Adjunto, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); marcelo-battesini@ufsm.br

² Professora Adjunta, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, Brasil; analucia.stat@gmail.com

high percentage of attendance (92.1%), high teacher evaluation (9.59) and learning level similar to the other four occurrences of the discipline in previous years (average grade 8). Positive results that involve an institutional learning and stimulate the continuation of the use of active methodologies in future occurrences of the discipline.

Keywords: Active Learning Methodology; Industrial Engineering; Design of Experiments.

INTRODUÇÃO

O processo ensino-aprendizagem é afetado pelas práticas docentes, influenciando diretamente os resultados de aprendizagem esperados. Relação causal também presente no contexto do ensino de Projeto de Experimentos em um curso de Engenharia de Produção e que delimita a temática abordada por este artigo.

A compreensão de que as formas de pensar em educação envolvem os domínios cognitivos, afetivos e psicomotores, entre outras, não é nova, sendo comum utilizar classificações de aprendizagem (BLOOM, 1956; KRATHWOHL, 2002; O'NEILL e MURPHY, 2010) como ferramentas para distinguir a adequação de uma forma particular do resultado de aprendizagem (BLOOM, 1956; KRATHWOHL, 2002).

A realidade é que não existe um melhor método de ensino (FELDER *et al.*, 2000) ou uma única forma de aprender (OSU, 2005), fatos que tornam complexa a escolha pelo docente de uma dada abordagem para mediar a aprendizagem, podendo conduzi-lo ao insucesso e à frustração, no caso da adoção de uma estratégia única e antiquada.

A prática de ensino, ainda hoje, não é diferente do que ocorreu durante muito tempo, consistindo, essencialmente, no modelo de aula no qual o professor transmite o conteúdo, com um breve momento de discussão e, após, propõe atividades para serem respondidas pelos alunos que memorizaram as informações (SOUZA; DOURADO, 2015). As formas de aprendizado são individuais e há muito tempo foram caracterizadas; podem ser mensuradas com base no índice de estilo de aprendizado (FELDER; SPURLIN, 2005), questionário que acessa as preferências de aprendizado nas dimensões: ativa / reflexiva, sensitiva / intuitiva, visual / verbal e sequencial / global.

Uma sala de aula na qual os estudantes são sempre passivos, nem o experimentador ativo nem o observador reflexivo podem aprender de forma eficaz, situação na qual, infelizmente, se enquadram a maioria das aulas de engenharia (FELDER; SILVERMAN, 1988). Deficiências na educação de engenharia têm sido exaustivamente enumeradas e, apesar de existirem métodos alternativos para facilitar o aprendizado, infelizmente, o ensino de engenharia substituiu as réguas de cálculo por calculadoras, porém, em 1999, em muitas classes, ele é exatamente o mesmo que era em 1959 (FELDER *et al.*, 2000).

A incompatibilidade entre os estilos de aprendizagem da maioria de estudantes de engenharia e o de ensino de seus professores não é novidade (FELDER; SILVERMAN, 1988), sendo necessário que os educadores adotem abordagens diferenciadas em função dos discentes (BATTESINI *et al.*, 2012). Desajuste que pode resultar em mau desempenho dos estudantes, frustração profissional e uma perda social de muitos potenciais engenheiros, mas que podem ser minimizados com o uso de técnicas e abordagens diferenciadas, especialmente daquelas que oportunizam o desenvolvimento pelos alunos de atividades durante a aula e proporcionam a organização indutiva da informação (FELDER; SILVERMAN, 1988). Dado que, os argumentos indutivos partem de questões particulares e fornecem a base que possibilita a identificação de uma conclusão geral, diferenciando-se da dedução na qual as premissas se constituem em fundamentos definitivos às conclusões.

Essa realidade contrasta com as exigências do mercado competitivo atual que, segundo Ponciano *et al.* (2017), busca, cada vez mais, profissionais com habilidades práticas de gestão e de trabalho em equipe.

Em cenário como esse, o aprendizado ativo pode auxiliar no aprendizado e na formação profissional, produzindo um conjunto de benefícios (OSU, 2005; PDST, 2016), entre eles, desenvolvimento de habilidades de comunicação e de raciocínio de alto nível, trabalho em equipe, motivação, foco no aprendizado e na adequação à variedade de estilos, retenção de informação, uso de novos recursos e de aprendizagem.

As metodologias ativas (MAs) têm o potencial de despertar a curiosidade, à medida que os alunos se inserem na teorização e trazem elementos novos, ainda não considerados nas aulas, ou na própria perspectiva do professor, sendo que, quando são acolhidas, produzem nos alunos sentimentos que estimulam o engajamento, a persistência nos estudos e a percepção de competência e de pertencimento, entre outras (BERBEL, 2011). Contexto que delinea a situação problemática tratada neste texto, relacionada a como implantar metodologias ativas no ensino de uma disciplina quantitativa de engenharia. O objetivo deste artigo é descrever e avaliar os resultados da implantação de aprendizado baseado em programas e em projetos na disciplina de Projeto de Experimentos de um curso de Engenharia de Produção.

METODOLOGIA

Em termos metodológicos, este trabalho se constitui em um estudo de caso único, narrado *ex post facto*, com objetivo descritivo e abordagem qualitativa (PATTON, 2002; SANTOS, 2007; YIN, 2010), que utilizou a observação sistemática e a pesquisa bibliográfica como fontes de pesquisa, adotou a pesquisa de levantamento como procedimento de coleta (MIGUEL, 2007; GIL, 2008; MIGUEL, 2012). O cunho descritivo sugere que seja possível sistematizar o processo e avaliar o seu sucesso (SANTOS, 2007).

O estudo foi conduzido no *campus* sede de uma universidade pública federal localiza-

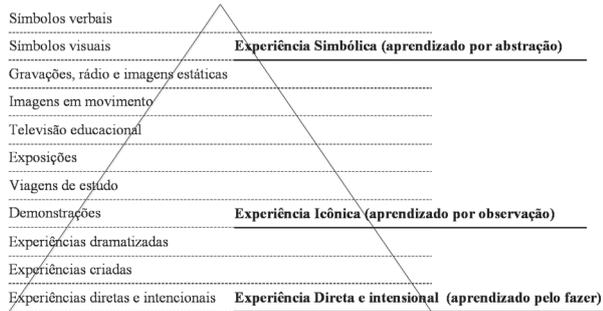
da no interior de um estado da região sul do Brasil, durante o segundo semestre letivo de 2017, com uma turma relativamente pequena, composta por onze alunos (cinco mulheres e seis homens). A disciplina de Projeto de Experimentos (dPE) é anual, eletiva, ocorre no sétimo semestre no curso de graduação em Engenharia de Produção, em carga horária de 60h, e tem como objetivos de aprendizagem: projetar experimentos com uma variável de resposta e múltiplos fatores; planejar, coletar e analisar estatisticamente dados e concluir em relação às hipóteses iniciais, de modo a apoiar a tomada de decisão em relação a sistemas analisados. As unidades previstas no programa de ensino não deixam dúvidas quanto ao caráter quantitativo dos conteúdos tratados: introdução ao PE; experimentos com variável de resposta única e um, dois ou mais fatores; experimentos fatoriais do tipo 2^k completos, blocos e fracionados.

As etapas utilizadas na pesquisa podem ser resumidas em concepção da abordagem, implantação e avaliação dos resultados, que são apresentadas nas seções a seguir.

CONTEXTO TEÓRICO

A forma como ocorre o aprendizado interfere na escolha de metodologias de ensino, relação causal que tem sido influenciada por teorias educacionais e pelo cone de Dale.

O conceito de continuidade do aprendizado pela experiência foi primeiro apresentado por Edgar Dale, em 1946, na primeira edição do livro *Audiovisual methods in teaching*, tendo sido sistematizado na forma de um cone de experiência que relaciona opções de mídia a um *continuum* concreto-abstrato (ver Figura 1), que nada mais é que uma analogia visual da progressão das experiências de aprendizado (LEE; REEVES, 2018). A ampla base do cone ilustra a importância da experiência direta para uma comunicação e aprendizagem eficazes (Dale, 1969 *apud* LEE; REEVES, 2018). A sistematização oferecida e a grande capacidade de comunicação visual fazem com que o cone da experiência de Dale seja utilizado para justificar a adoção de MA (OSU, 2005; PDST, 2016).

Figura 1 – Cone da experiência de Dale.

Fonte: Adaptado de Lee e Reeves (2018).

O cone de Dale continua a inspirar a instrução de designers, na teoria e prática, com o cone de abstração multimídia, apesar disso, é importante destacar que o cone de Dale é frequentemente mal interpretado e mal utilizado (LEE; REEVES, 2018), sendo comum o uso de denominações que produzem um sentido distinto do proposto pelo autor (cone e pirâmide de aprendizagem) e de falsos modelos (figuras) com percentagens, alegando mostrar taxas de aprendizagem e de retenção, que têm se arraigado na consciência de desavisados (SUBRAMONY; MOLEND, 2014). As metodologias ativas (MAs) permitem o protagonismo de estudantes no aprendizado e vêm sendo exploradas nas diferentes áreas do conhecimento, em especial na engenharia.

Metodologias Ativas de Aprendizagem

As MA baseiam-se em formas de desenvolver o processo de aprender a partir de experiências reais, ou simuladas, visando às condições de solucionar desafios advindos das atividades essenciais da prática social, em diferentes contextos (BERBEL, 2011).

O aprendizado ativo em seu nível mais simples introduz os estudantes nos modos de leitura tradicional e promove seu engajamento (PRINCE, 2004) em todos os estágios do processo de aprendizagem, incluindo o planejamento, projeto, execução e avaliação (OSU, 2005; PDST, 2016).

Segundo Farias *et al.* (2014), entre os elementos que compõem as metodologias ativas, devem-se considerar, conceitualmente, dois atores: o professor, que deixa de ter a função de ensinar, sendo-lhe atribuída a tarefa de facilitar o processo de aquisição do conhecimento; e o aluno, que passa a receber denominações de

um contexto dinâmico, tais como, estudante ou educando. Um conjunto de atividades pode ser utilizado como MA de ensino e aprendizagem, em diferentes áreas do conhecimento, a exemplo da área de educação em saúde: grupos de discussão, contar histórias, figuras e quadro negro, experimentos e demonstrações, pesquisas, visitas e visitantes, assumir papéis e dramatizações, jogos, poemas e canções (UNESCO, 2004)

Questões também pertinentes para o ensino de engenharia, seja na apropriação rotineira pelos docentes ou na sua explicitação nos projetos pedagógicos dos cursos.

Segundo O'Neill e Murphy (2010), a concepção do curso deve assegurar a mudança do foco no professor (conteúdo) para o centrado no estudante (aprendizado), sendo importante identificar claramente os objetivos de aprendizagem e os resultados esperados dos alunos. No contexto do ensino de engenharia, de acordo com Felder *et al.* (2000), o ensino deve pautar, fundamentalmente: projetos e operações de engenharia do *mundo real*; cobrir mais material nas áreas fronteiriças da engenharia; oferecer mais e melhor instrução sobre comunicação oral, escrita e trabalho em equipe; desenvolver pensamento crítico e criativo e métodos de resolução de problemas; produzir egressos éticos em relação às conexões entre tecnologia e sociedade; e reduzir as horas do currículo para que o aluno médio possa completá-lo em quatro anos.

Apesar do ensino não pode ser reduzido a um formulário de métodos e de as MAs não serem a cura para todos os problemas do ensino, existe um amplo suporte na literatura que corrobora a sua utilização (PRINCE, 2004). Ainda segundo o autor, as faculdades de engenharia deveriam ser fortemente encorajadas a olhar para a literatura de aprendizagem ativa, dado que há evidências convincentes para estimular os professores a pensarem sobre o ensino e a aprendizagem de maneiras não tradicionais. Típicas formas de aprendizado relatadas na literatura relacionadas por Graaff e Kolmos (2003) são a prática exemplar; o aprendizado interdisciplinar e baseado em: problemas; grupos; experiências; atividades; e participação-direcionado. As instituições de engenharia precisam preparar potenciais engenheiros para

o trabalho e, para isso, precisam adotar métodos de aprendizado eficientes e efetivos, o que somente pode ocorrer se os professores conhecem e praticam apropriados métodos de ensino nas salas de aula (SANKARAN; MOHANTY, 2018).

Dentre as inúmeras MA, metodologias baseada em problemas e em projetos merecem destaque para os fins do presente trabalho, sendo aqueles que melhor se adaptam ao construtivismo e à aprendizagem por competência, por vezes, utilizados de forma complementar e combinada (WEENK; VAN DER BLIJ, 2011).

Aprendizado Baseado em Problemas e Projetos

O aprendizado baseado em problemas (*problem-based learning*, PbBL) é reconhecido como um método inovador e bem-sucedido para a educação em engenharia, com variações que emergiram após o seu desenvolvimento no Canadá, ao final dos anos 1960 (GRAAFF; KOLMOS, 2003).

A metodologia PbBL é uma estratégia ativa de ensino centrada no aluno que faz com que os estudantes trabalhem com o objetivo de conhecer, compreender e solucionar situações desafiadoras, estando centrado em perguntas, na pesquisa, no aprender a pensar, em criar hipóteses e testá-las com base no conhecimento prévio e nas novas descobertas; tem como base a identificação e resolução de problemas, onde o estudante deve aprender a fazer perguntas e a trabalhar cooperativamente para respondê-las (MAGEDANS *et al.*, 2016).

Conforme Souza e Dourado (2015), o PBL parece inspirar maior envolvimento nas atividades de estudo e, conseqüentemente, um maior nível de compreensão complexa.

Já o aprendizado baseado em projetos (*project-based learning*, PjBL) é uma abordagem de ensino e aprendizagem que demanda um ajuste mental e uma mudança dos papéis de estudantes e professores, dado ter sido projetada para engajar os estudantes na investigação de problemas autênticos, se tornando aprendizes ativos e participativos de atividades práticas, enquanto os professores fornecem orientação ao trabalho (SHEKAR, 2014). A utilização de PjBL tem incrementado a educação técnica

como uma metodologia de aprendizado que envolve os estudantes e os torna empregáveis e úteis à sociedade, sendo necessário integrá-la nos currículos de modo que os projetos sejam parte da educação técnica (SRINIVASAPAI, 2018).

A adoção da prática de PjBL, ao longo de 20 anos, indica que o processo de aprendizado demanda que professores e estudantes assumam papéis ativos, maior comprometimento e responsabilidade durante as diferentes fases de projetos com conteúdo real, em uma experiência pré-profissional que requer a integração dos conhecimentos já adquiridos com aqueles desenvolvidos durante o projeto (RÍOS *et al.*, 2010). Na PjBL, as atividades giram em torno de um projeto que deve ser executado e transformado em produto final, processo que envolve conhecimentos variados e favorece a interdisciplinaridade (FARIAS *et al.*, 2014). A PjBL pode auxiliar a próxima geração de engenheiros a ser competitiva e desenvolver as dez principais habilidades necessárias à solução de problemas complexos de engenharia: pensamento crítico, criatividade, gestão de pessoas, coordenação coletiva, inteligência emocional, julgamento e tomada de decisão, orientação ao serviço, negociação e flexibilidade cognitiva (AHMED *et al.*, 2018).

Considerando as suas características e essas muitas vantagens descritas, não é de se estranhar os muitos exemplos relatando o sucesso de aplicações de PbBL e PjBL na área de engenharia, incluindo a sua formalização no currículo (RÍOS *et al.*, 2010; DANTAS, 2014; BARDINI; SPALDING, 2017; AHMED *et al.*, 2018; SRINIVASAPAI, 2018).

APRENDENDO COM AVIÕES DE PAPEL

Aprendendo com aviões de papel (AcAP) foi a denominação atribuída a um conjunto de cinco problemas sequenciais e inter-relacionados, utilizados na disciplina de Projeto de Experimentos (dPE). A situação problemática motivadora do AcAP foi construir o avião de papel que, após arremessado, voe a maior distância linear.

Dinâmica metodológica adotada

A dPE é uma matéria eletiva, conduzida em 15 encontros de 4 horas aula, que, na sua quinta ocorrência, foi concebida para utilizar MA. Em 9 foram trabalhados problemas, suportados por PbBL, sendo 5 utilizados para AcAP e os 4 restantes com outros problemas; em 4 foram desenvolvidas atividades relacionadas ao projeto final, com o apoio de PjBL; e em 2 ocorreram provas.

A forma de avaliação foi uma questão importante, desde a intensão inicial de implantar as MA. Como forma de monitorar os resultados do aprendizado, foram utilizadas duas provas individuais, no 7º e 12º encontros (60% da avaliação), o projeto final (30%), realizado em grupos, e a solução de problemas ao longo do semestre (10%), em duplas.

O conjunto AcAP envolveu atividades de aprendizado com maior quantidade de encontros (1/3) e visibilidade na instituição, motivo pelo qual são a seguir destacados e caracterizados, de modo a ilustrar o contexto de aprendizado vivenciado e o processo de implantação de MA na dPE. Os encontros utilizados para o AcAP correspondem às unidades de ensino “experimentos com variável de resposta única e um, dois ou mais fatores”, previstas no programa da dPE.

O encontro inaugural foi utilizado para a conscientização, e consenso, sobre a utilização de MA, assim como para a entrega de uma folha síntese caracterizando o problema proposto para o encontro seguinte, forma padronizada utilizada na aplicação do PbBL, na qual constam as seções: o problema definido; análise e discussão; instruções para a resolução do problema e a forma de relatar as conclusões e recomendações.

Como forma de apoiar a busca por informações para a solução do problema foi indicada a bibliografia, disponibilizado vídeo sobre o conteúdo e estimulada a busca por de-

mais informações na web. Procedimento adotado para todos os problemas utilizados na dPE, que se assemelha ao conceito de aula invertida (FLIP LEARNING, 2018), pois envolve a busca prévia ao horário de aula, e determina a forma como se dará o aprendizado no próximo encontro.

Os demais quatro encontros do AcAP foram concebidos para conduzir os estudantes pelos procedimentos de análises preconizados na literatura para estudos de PE (MASON, 2003; STORCK et al., 2006; HINKELMANN; KEMPTHORNE, 2007; MONTGOMERY; RUNGER, 2011; MONTGOMERY; 2013). A descrição das atividades do AcAP é realizada a seguir, em seções ordenadas com base no conjunto de etapas de um PE (MONTGOMERY, 2013): (i) definição do problema; (ii) hipotetização; (iii) experimentação (escolha dos fatores e seus níveis, seleção da variável resposta, escolha do PE, condução do experimento e análise de dados); (iv) e Conclusão.

Atividades de aprendizado do AcAP

No 1º encontro, foi caracterizada a situação problemática envolvendo o AcAP, os grupos se auto-organizaram e foi definido o problema a ser tratado no encontro seguinte:

Seu grupo deve produzir 3 exemplares de um tipo de avião de papel que voe a maior distância possível utilizando somente três tipos diferentes de folhas de papel A4 (Sulfite, Pardo e Reciclado). O modelo de avião deve ser diferente dos demais grupos. Os três aviões devem ser arremessados 15 vezes a partir de um ponto de origem. A distância percorrida (não o deslocamento), medida em metros, desde a origem até o ponto de queda, deve ser medida e anotada. Ao final terão sido coletados 45 observações. A coleta de dados deve ser planejada para ocorrer de modo aleatório.

O 2º encontro foi reservado à produção dos aviões, ao planejamento e à coleta de dados. Cada grupo produziu um modelo de avião distinto, como indicado na Figura 2.

Figura 2 – Tipos de aviões de papéis.



Fonte: acervo do autor.

O 3º encontro foi utilizado para a análise dos dados coletados e o problema estabelecido teve o enunciado:

Seu grupo deve realizar a Análise de Variância (ANOVA) com a variável de resposta distância (m) e o fator tipo de papel (Sulfite, Pardo e Reciclado) com os dados do Encontro 2.

No 4º encontro, ocorreu nova coleta de dados e análise dos dados para o problema:

Seu grupo deve produzir 3 exemplares de um tipo de avião de papel que voe a maior distância possível utilizando somente três tipos diferentes de folhas de papel A5 (Sulfite, Pardo e Reciclado). O modelo e o procedimento de coleta deverão ser os mesmos utilizados no Encontro 2. Após coletar os dados o seu grupo deve realizar a Análise de Variância (ANOVA) com a variável de resposta distância (m) e os fatores: tipo de papel (Sulfite, Pardo e Reciclado) e tamanho do papel (A4 e A5).

No 5º encontro, ocorreu a análise dos dados para o problema:

Seu grupo deve realizar a Análise de Variância (ANOVA) com a variável de resposta distância (m) e os fatores: Tipo de Papel (Sulfite, Pardo e Reciclado); Tamanho de Papel (A4 e A5); e Tipo Avião (Av1, Av2, Av3).

É importante destacar algumas questões importantes em relação ao conjunto de problemas utilizados no AcAP: o PE foi previamente concebido pelo professor com base nas etapas de um PE, incluindo a situação problemática, as hipóteses, a experimentação (1 variável de resposta e 3 fatores controláveis) e um delineamento inicial da coleta de dados: a cada encontro são realizadas ANOVA para o número de fatores disponível; os alunos definiram os fatores a serem mantidos constantes e os não controláveis.

A concepção do PE, com coleta e análise de dados incremental, permitiu que uma mesma situação problemática (PbBL) suportasse o aprendizado de um conjunto de conteúdos previsto no programa da dPE, a partir de dados reais. Além disso, oportunizou que, nos quatro primeiros encontros, cada grupo solucionasse um problema distinto, porém inter-relacionado com os demais, de modo que, no 5º encontro, todos os grupos solucionassem o mesmo problema, mas utilizando os dados dos demais.

Para ilustrar a riqueza e complexidade do aprendizado, a seção a seguir sistematiza as análises realizadas no 5º encontro.

PE fatorial completo

Um experimento é um teste, ou série de testes, em que são feitas mudanças propositalmente em algumas características, de modo a observar e identificar as razões das mudanças que puderam ser observadas em uma variável resposta (MONTGOMERY, 2013). As subseções a seguir ilustram as etapas do PE realizado.

Definição do problema

O problema de que trata o PE é como construir, com folhas de papel, um avião que voe a maior distância linear possível.

Hipotetização

Entre as hipóteses que se apresentam ao pesquisador estão: o modelo de avião altera a sua aerodinâmica e pode estar relacionado a um melhor resultado; o tipo de papel e o arremesador interferem na performance; o desempenho do avião pode ser afetado pelo tamanho do papel, em função de alterar o seu peso; as condições ambientais e o processo de construção podem afetar a distância percorrida.

Experimentação

A partir da hipotetização, foi definida a *variável de resposta* distância percorrida (do tipo maior é melhor), medida em metros com precisão de centímetros, e foram eleitos três *fatores controláveis* para serem investigados: tipo de papel (A), com os níveis sulfite, reciclado e jornal; tamanho do papel (B) com os níveis folhas do tamanho A4 e A5; e tipo de avião (C) com os níveis 1, 2 e 3 (Figura 2).

Como resultado da *escolha do Planejamento Experimental* optou-se por um projeto fatorial completo aleatorizado com 15 repetições, que corresponde a um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x2x3. Os ensaios fatoriais são experimentos que envolvem combinações entre dois ou mais fatores estudados a diferentes níveis, cuja avaliação conjunta permite o estudo de interações entre fatores, que se apresentam significativas

quando a diferença na variável resposta entre os níveis de um fator não é a mesma para todos os níveis dos outros fatores (STORCK *et al.*, 2006). O modelo que representa o PE adotado é dado na Equação 1.

$$TSD = q_{\alpha(k, N-k)} \sqrt{\frac{MQR}{n}} \quad \text{Equação 2}$$

sendo: $i, k = 1, 2, 3$; $j = 1, 2$; $l = 1, 2, \dots, 15$; y_{ijkl} a distância percorrida referente à l -ésima repetição da combinação entre o i -ésimo nível do fator A com o j -ésimo nível do fator B e o k -ésimo nível do fator C; μ o efeito médio global; τ_i o i -ésimo nível do fator A; β_j o j -ésimo nível do fator B; γ_k o k -ésimo nível do fator C; $\tau_i\beta_j$ a interação entre o i -ésimo nível do fator A e o j -ésimo nível do fator B; $\tau_i\gamma_k$ a interação entre o i -ésimo nível do fator A e k -ésimo nível do fator C; $\beta_j\gamma_k$ a interação entre o j -ésimo nível do fator B e k -ésimo nível do fator C; $\tau_i\beta_j\gamma_k$ a interação de três fatores; ε_{ijkl} o erro experimental associado à distância y_{ijkl} que é normalmente distribuída, com média 0 e variância σ^2 .

Como visto, o PE adotado permite a investigação dos fatores principais (A, B e C) e de todas as suas interações de dois fatores (AB, AC) e da interação entre três fatores (ABC), com a ANOVA com a qual é possível analisar 7 hipóteses estatísticas, dentre as quais se exemplifica para a interação ABC, que testa se: o tipo de papel tem efeito diferenciado na presença de combinações dos níveis do tamanho do papel com o tipo de avião e pode ser expressa por: $H_0: (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$ para i, j, k ; $H_1: (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ para pelo menos um i, j, k .

A *Condução do Experimento* foi planejada e se valeu de fita para demarcação, trena com 30m e instrumento para registro das observações das rodadas experimentais.

A coleta de dados ocorreu em ambiente fechado para diminuir a influência de fatores não controláveis no experimento (ver Figura 3), tendo sido escolhido do saguão de entrada do prédio da escola de engenharia, local com dimensões adequadas e de grande circulação de pessoas, o que agregou uma grande visibilidade institucional para as atividades.

Figura 3 – Coleta de dados: arremesso (esquerda) e medição (direita).



Fonte: acervo do autor.

A cada arremesso do avião, a distância era registrada. Uma equipe supra grupos foi auto-organizada para realizar as medições dos arremessos, que eram registrados pelos demais integrantes dos grupos.

A alocação das unidades experimentais aos tratamentos e a ordem de realização dos

ensaios foram feitas de modo aleatório. A sistematização das duas coletas de dados de três grupos, pela realização de 15 arremessos de avião (O1 a O15) por tipo de papel, produziu 270 observações ($3 \times 2 \times 3 \times 15$) que se encontram consolidados no Quadro 1.

Quadro 1 – Consolidação das observações para o planejamento experimental realizado.

		Tamanho A4														
Avião	Papel	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14	O15
Tipo 1	S	6,82	6,65	6,48	6,34	6,14	6,41	6,3	6,73	6,98	6,02	6,66	5,98	5,93	5,96	5,77
	R	7,11	12,78	7,06	9,44	11,66	9,6	4,44	2,57	6,48	6,76	5,61	9,11	16,04	8,92	7,31
	J	5,3	5,92	7,61	7,4	6,16	4,9	4,72	5,43	5,51	6,53	5,21	5,33	4,9	5,4	5,09
Tipo 2	S	7,47	7,33	4,42	5,92	5,47	5,7	6,23	3,84	7,7	5,39	8,1	5,17	12	6,1	3,96
	R	13,95	10,02	10,75	12,31	5,2	6,01	6,15	5,9	8,23	7,17	7	6,32	5,92	7,12	6,84
	J	3	3,9	4,93	5,21	6,69	6,51	5,78	6,37	3,71	6,18	9,3	4,91	7,72	8,77	5,68
Tipo 3	S	11,86	12,07	8,59	19,04	15,37	6,97	15	15,55	13,1	15,1	8,28	8,47	12,15	15,64	9,05
	R	8,2	4,84	4,97	14,05	7,87	13,82	9,87	8,63	9,63	7,25	2,85	8,41	10,25	11,35	13,34
	J	10	11,7	12,8	11,2	6,18	9,57	10,45	2,98	7,51	10,3	9,81	10,43	11,3	9,85	8,1
		Tamanho A5														
Avião	Papel	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14	O15
Tipo 1	S	4,98	5,6	5,13	3,89	3,61	4,48	4,47	3,99	2,65	3	3,06	2,68	2,9	3,34	3,17
	R	6,21	4,92	4,21	5,81	4,7	5,97	6,16	5,71	6,18	4,98	6,11	5,85	5,36	5,97	4,33
	J	3,06	6,04	4,3	12,09	5,97	6,58	6,8	11,51	12,71	11,67	11,75	8,99	6,17	11,22	12,62
Tipo 2	S	6,19	6,1	7,72	8,17	7,22	8,99	5,94	7,65	4,6	7,7	7,66	8,77	7,66	7,48	6,61
	R	5,75	6,31	5,22	6,22	4,87	6,29	4,73	5,75	4,73	4,88	4,18	4,39	4,28	5,12	4,59
	J	6,88	7,3	9,73	10,1	3,49	9,71	7,17	5,95	9,09	10,19	5,77	5,8	4,38	10,45	5,93
Tipo 3	S	6,52	7,04	5,09	6,91	7,49	11,07	7	7,74	6,46	8,6	6,81	9,78	8,05	6,99	9,05
	R	4,02	5,03	6,36	10,84	6,39	8,96	10,88	10,16	9,02	10,26	9,72	10,6	10,43	7,78	8,39
	J	6,65	5,23	5,79	8,08	7,25	6,22	11,01	9,89	6,94	8,48	7,27	5,64	9,01	8,97	10,15

Fonte: dados da pesquisa.

A análise dos dados foi realizada com o auxílio de ANOVA, apresentada na Tabela 1, na qual se observam, à exceção do fator A, todos os fatores significativos a um nível de significância de 5% ($F_{calculado} < F_{critico}$).

É importante destacar que a presença de interação tripla (ABC) usualmente não se apresenta significativa, porém oportuniza a realização de uma análise não trivial. Nesse caso, a investigação do melhor ajuste se deu com base na interpretação simultânea dos gráficos das interações entre dois fatores AB, AC e BC, apresentados nas Figuras 4, 5 e 6. O melhor ajuste pode ser identificado com base em comparações múltiplas de médias (CMM), como a seguir apresentado.

Tabela 1 – Análise de Variância (ANOVA).

Fonte	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{critico}
A	2,24	2	1,12	0,23	3,03
B	75,67	1	75,67	15,87	3,88
C	414,13	2	207,07	43,44	3,03
AB	139,40	2	69,70	14,62	3,03
AC	115,07	4	28,77	6,03	2,41
BC	57,40	2	28,70	6,02	3,03
ABC	183,19	4	45,80	9,61	2,41
Resíduo	1201,28	252	4,77		
Total	2188,39	269	8,14		

Fonte: dados da pesquisa.

O limite de decisão para as CMM (MASON, 2003; MONTGOMERY; 2013) pode ser obtido com base no teste de Tukey (*Tukey significant difference*, TSD) para dados balanceados e tamanhos de amostras iguais com base na Equação 2.

$$TSD = q_{\alpha(k, N-k)} \sqrt{\frac{MQR}{n}} \quad \text{Equação 2}$$

Como o número de observações que compõem as médias (k) é diferente para cada gráfico de interação, para interpretar as Figuras 4 e 6 é preciso utilizar $TSD^{AB \text{ e } BC} = 1,31$ e, para a Figura 5, deve-se usar $TSD^{AC} = 1,75$.

Como estratégia para identificar o melhor ajuste a partir da CMM foi determinada a na interação $B^{A4}C^{Avião3} = 10,31$ e que é significativamente diferente de $B^{A5}C^{Avião3} = 8$ ($10,31 - 8 = 2,31 > TSD = 1,31$), o que define o melhor ajuste para os fatores B e C.

Para o ajuste do fator A, é preciso interpretar os gráficos de interação entre os fatores AB e AC. No caso da Figura 4 (AB), ao fixar o ajuste ótimo A^5 às diferenças entre as médias (8; 6,41; e 6,22), observa-se que o papel jornal é significativamente diferente dos demais ($8 - 6,41 = 1,59 > TSD = 1,31$), o que define o melhor ajuste para o fator A. No caso da Figura 5 (AC), ao fixar o ajuste ótimo $C^{Avião3}$ às diferenças entre as médias (10,03; 8,81; e 8,63) são todas inferiores a $TSD^{AC} = 1,75$, restando adotar o ajuste anterior A^{Jornal} .

Posteriormente, foi verificada a adequação do modelo e a existência de observações atípicas por meio da análise dos resíduos. Ao conduzir o teste Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,15$), concluiu-se que não pode ser rejeitada a hipótese de que os dados sigam a distribuição normal, resultado que é consistente com o papel de probabilidade normal e pelo histograma dos resíduos indicados nos painéis à esquerda na Figura 5, que também indica, nos painéis à direita, a homocedasticidade da variância e a independência dos resíduos.

Figura 4 – Gráfico de interação entre os fatores A e B.

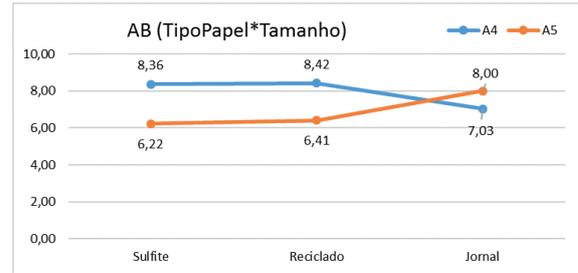


Figura 5 – Gráfico de interação dos fatores A e C.

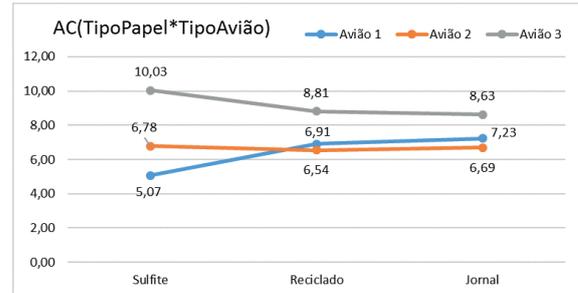


Figura 6 – Gráfico de interação dos fatores B e C.

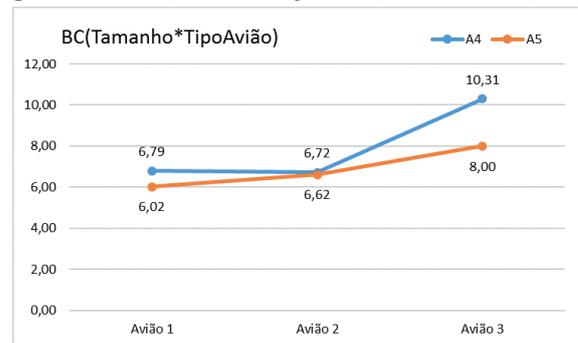
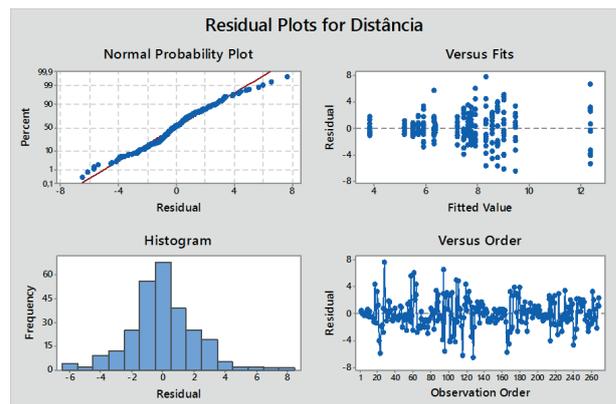


Figura 7 – Gráficos de suporte a análise dos pressupostos.



Fonte: dados da pesquisa.

AVALIAÇÃO DO APRENDIZADO

Com base na experimentação conduzida, é possível observar que os fatores principais tamanho do papel (B) e tipo de avião (C) foram significativos, assim como as interações de dois

fatores (AB, AC e BC) e de três fatores (ABC). Considerando que a situação problemática era identificar o avião que percorre a maior distância, conclui-se que para isso, deve-se produzir aviões com o ajuste $A^{\text{Jornal}}B^{A5}C^{\text{Avião}3}$. Assim, para se produzir o avião que percorre a maior distância linear (m) deve-se utilizar o papel jornal, com folha do tamanho A5 e para produzir o avião do tipo III.

A avaliação do aprendizado resultante com a implantação de metodologias ativas foi realizada de três formas. A primeira está relacionada à perspectiva dos alunos. Em uma aula dialogada realizada no 15º encontro os alunos relataram: o aumento do interesse, em relação à aula expositiva; um maior envolvimento; a melhora da capacidade de trabalho em grupo; a adequação aos diferentes perfis de aprendizagem e à variação de carga de estudo ao longo do semestre; e a possibilidade de utilizar as videoaulas para estudar para as provas a qualquer momento. Além disso, os alunos indicaram nota média igual a 9,59 (0 a 10) no relatório institucional (4.99.02.40.10) de avaliação de desempenho do docente pelo discente, o que reforça a sua satisfação em relação à metodologia utilizada.

A segunda foi a observação direta pelo professor, que percebeu os alunos mais felizes e dispostos, assim como a melhora do ambiente de sala de aula e algumas das vantagens com o uso de metodologias ativas descritas na literatura (FELDER *et al.*, 2000; PRINCE, 2004; O'NEILL; MURPHY, 2010; RÍOS *et al.*, 2010; SHEKAR, 2014; MAGEDANS *et al.*, 2016; AHMED *et al.*, 2018), a exemplo de: maior engajamento, comprometimento dos estudantes, reconhecimento dos objetivos de aprendizagem e dos resultados esperados, desenvolvimento de pensamento crítico; trabalho cooperativo; integração dos conhecimentos e coordenação coletiva.

A terceira forma de avaliação foi uma análise comparada, entre as cinco turmas já realizadas, de alguns dos principais elementos de avaliação utilizados no ensino: avaliação média (AM) antes do exame (1-10), avaliação média final (AMF) após o exame (1-10) e percentual de presença (%P), como indicado na Tabela 2, na qual a turma 5 corresponde àquela em rela-

ção à qual foram desenvolvidas as atividades de AcAP.

Tabela 2 –Análise comparativa de instrumentos de avaliação.

Turma	Nº Alunos	AM	AMF	% P
1	24	7,0	6,7	92,9
2	10	8,4	8,3	97,3
3	14	7,4	7,4	86,7
4	15	7,7	7,6	88,0
5	11	6,7	8,0	92,1

Fonte: dados da pesquisa.

Como pode ser observado na Tabela 2, apesar de uma nota média anterior ao exame (AM), a AMF e o %P são muito semelhantes aos obtidos pelas demais turmas (1 a 4). Destaca-se que a turma 5 é uma das menores, o que sempre tende a distorcer as médias, especialmente caso ocorram alunos com AMF muito inferior ao dos demais.

É importante destacar que, apesar de ser desejado que elas não reduzissem, não era esperado que houvesse um aumento das AMF com a utilização de experiências diretas e intencionais e o aprendizado pelo fazer, o que efetivamente ocorreu. Nesse sentido, a utilização das atividades de AcAP que exploraram o aprendizado concreto e a experiência direta, base do cone da experiência de Dale (Figura 1) foi considerada profícua, agregadora e motivadora para a continuação da sua utilização em novas ocorrências da disciplina dPE e em outras disciplinas.

CONCLUSÕES

Este artigo descreveu e avaliou os resultados da implantação de metodologias ativas na disciplina de Projeto de Experimentos em um curso de graduação em Engenharia de Produção, caracterizando os principais elementos vivenciados no processo, em especial o conjunto de problemas denominado de aprendendo com aviões de papel.

A avaliação do aprendizado realizada indicou vantagens similares àqueles relatados na literatura. A experiência de aprendizado suportada pelo uso concomitante de metodologias ativas variadas (videoaulas, metodologias baseadas em problemas e projetos, aula invertida,

entre outras) foi reconhecida pelos alunos, que apontaram vantagens na sua adoção. Destaca-se o grande percentual de frequência às aulas (92,1%), a alta avaliação do docente (9,59) no relatório institucional e nível de aprendizado similar às outras quatro ocorrências da disciplina em anos anteriores (nota média 8).

Entre os principais resultados identificados pelo docente estão a satisfação de construir um ambiente prazeroso para o processo-ensino-aprendizado, a experiência de construir problemas complexos e inter-relacionados, a oportunidade de exemplificar um caso real de análise e um experimento que apresentou uma interação significativa entre três fatores, a construção de padrões de folha-síntese para comunicação dos problemas, assim como a convicção de que as vantagens identificadas não interferem nas notas obtidas.

Resultados esperados e considerados positivos que incorporam um aprendizado institucional em nível de unidade gestora e estimulam o prosseguimento com o uso de metodologias ativas e aperfeiçoamento de sua implementação em ocorrências futuras da disciplina.

REFERÊNCIAS

- AHMED, Syed M. *et al.* Skill development in freshmen by adopting project based learning-“Introduction to Engineering” course. **Journal of Engineering Education Transformations**, Special Issue, 2018, eISSN 2394-1707.
- BARDINI, V. S. S.; SPALDING, M. Aplicação de metodologias ativas de ensino-aprendizagem: experiência na área de Engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 36, n. 1, p. 49-58, 2017.
- BATTESINI, Marcelo *et al.* Ensino em Pesquisa Operacional: uma comparação do desempenho de alunos de cursos de graduação. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 31, n. 2, p. 55-65, 2012.
- BERBEL, N. A. N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. **Semina: Ciências Sociais e Humanas**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 25-40, jan./jul. 2011.
- BLOOM, B. (Ed.) **Taxonomy of educational objectives, the classification of educational goals: Cognitive Domain**. Handbook I. New York: McKay, 1956.
- CERQUEIRA, R. J. *et al.* Proposta de aplicação da metodologia PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas) em disciplina do curso de graduação em engenharia de produção da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). **International Journal on Active Learning**, Rio de Janeiro, v. 1, n.1, p. 35-55, 2016.
- DANTAS, C. M. M. Docentes engenheiros e sua preparação didático-pedagógica. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 33, n. 2, p. 45-52, 2014.
- FARIAS, P. A. M. *et al.* Aprendizagem Ativa na Educação em Saúde: Percurso Histórico e Aplicações. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 29, n.1, p. 143-158, 2014.
- FELDER, Richard M. *et al.*; The future of engineering education. II. Teaching methods that work. **Chem. Engr. Education**, v. 34, n. 1, p. 26-39, 2000.
- FELDER, Richard M.; SILVERMAN, Linda K. Learning and teaching styles in engineering education. **Engr. Education**, v. 78 n. 7, p. 674–681, 1988.
- FELDER, Richard M.; SPURLIN, Joani. Applications, reliability and validity of the Index of Learning Styles. **Int. J. Engng**, v. 21, n. 1, p. 103-112, 2005.
- FLIP Learning. **Definition of Flipped Learning**. [website] Disponível em: <<https://flippedlearning.org/definition-of-flipped-learning/>> Acesso em 7 mar. 2018.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.
- GRAAFF, E.; KOLMOS, Anete. Characteristics of problem-based learning. **Int. J. Engng**, v. 19, n. 5, p. 657-662, 2003.
- HINKELMANN, Klaus; KEMPTHORNE Oscar. **Design and Analysis of Experiments: Introduction Design**. v. 1, 2. ed., New York: John Wiley & Sons, 2007.
- KRATHWOHL, David R. A Revision of Bloom’s Taxonomy: An Overview. **Theory into practice**, v. 41, n. 4, 2002.
- LEE, S. J.; REEVES, T. C. Edgar Dale and the cone of experience. c. 7. In: WEST, Richard E. **Foundations of Learning and Instructional Design Technology Historical Roots and Current Trends**. [livro online] Disponível em: <<https://lidtfoundations.pressbooks.com/>> Acesso em 7 mar. 2018.
- MAGEDANZ, A. *et. al.* Propostas de abordagens por meio de metodologias ativas no ensino superior. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 8, n. 4, 2016.
- MASON, Robert L.; GUNST Richard F.; HESS, James L. **Statistical Design and Analysis of Experiments with applications to Engineering and Science**. New York: John Wiley & Sons, 2003.

- MIGUEL P. A. C. Estudo de caso na Engenharia de Produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.
- MIGUEL P.A.C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 8. ed. Wiley, 2013.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 2011.
- O'NEILL, Geraldine; MURPHY, Feargal. **Guide to taxonomies of learning**. Dublin: UNS, 2010.
- OSU – Oregon State University. **Active teaching – active learning**. 4H 0259L reprinted, nov. Oregon: OSU, 2005.
- PATTON, M. Q. **Qualitative Research & Evaluations Methods**. 3 ed. Thousand Oaks: Sage, 2002.
- PDST – Professional development service for teachers. **Leaving Certificate Applied, Teacher Handbook**, Dublin, 2016.
- PONCIANO *et al.* Metodologia ativa na engenharia: verificação da ABP em uma disciplina de engenharia de produção e um modelo passo a passo. **Revista Principia**, v. 34, p. 32-39, 2017.
- PRINCE, Michael. Does active learning work? A review of the research. **Journal of Engineering Education**, v. 93, n. 3, p. 223-231, 2004.
- RÍOS, Ignacio *et al.* Project-based learning in engineering higher education: two decades of teaching competences in real environments. In: **Procedia Social and Behavioral Sciences**, 2nd, 2010, p. 1368-1378.
- SANKARAN, Meenakshi; MOHANTY, Seemita. Practice vis-à-vis Benefits: An Assessment of the Teaching-Learning Methods Employed in Engineering Education. **Journal of Engineering Education Transformations**, v. 31, n. 3, Jan., 2018.
- SANTOS, A. R. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. 7ed. revisada conforme NBR 14724:2005. Rio de Janeiro: Lamparina, 2007.
- SHEKAR, Aruna. Project Based Learning in Engineering Design Education: sharing best practices. **ASEE – Annual Conference & Exposition**, 121st, 2014, Indianapolis, June 15-18, paper ID #10806.
- SOUZA, S. C.; DOURADO, L. Aprendizagem baseada em problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. **Holos**, v. 5, 2015.
- SRINIVASAPAI, P. *et al.* Project Based Learning (PBL): Issues faced by faculty for its effective implementation. **Journal of Engineering Education Transformations**, v. 31, n. 3, 2018.
- STORCK, L. *et al.* **Experimentação vegetal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2006.
- SUBRAMONY, Deepak; MOLENDIA, Michel. The mythical retention chart and the corruption of Dales's cone of experience. **Educational Thecnology**, nov./dec., p. 3-16, 2014.
- UNESCO. Active Methods for Teaching and Learning, 2004. In: **FRESH Tools for Effective School Health First Edition**. Disponível em: <<http://www.unesco.org/>> Acesso em 7 mar. 2018.
- WEENK, W.; VAN DER BLIJ, M. Tutors and teachers in project-led engineering education: a plea for PLEE tutor training. **3rd International Symposium on Project Approaches in Engineering Education: aligning engineering education with engineering challenges**. Lisbon: PAEE. 2011.
- YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

DADOS DOS AUTORES



Marcelo Battesini – Doutorado em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, em 2008). Desde 2010 atua como professor Adjunto no Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS). Linhas de pesquisa Engenharia de Operações e Processos da Produção e Engenharia da Qualidade. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9063-0959>.



Ana Lúcia Souza Silva Mateus – Doutorado em Agronomia (Estatística e Experimentação Agropecuária) pela Universidade Federal de Lavras (UFLA, em 2012). Desde 2010 atua como professora Adjunta no Departamento de Estatística da Universidade Federal de Santa Maria. Linha de pesquisa de Probabilidade e Estatística com ênfase em Probabilidade e Estatística Aplicadas (subáreas de Planejamento de Experimentos e Estatística Espacial/Processo Pontual).