

Utilizando a Aprendizagem Baseada em Problemas/Projetos para o desenvolvimento de um ventilador mecânico no Brasil: a percepção de graduandos sobre seu aprendizado e satisfação

Sérgio H. Evangelista, Guillermo Alvares Bestard, Fábio Henrique M. Oliveira, Isaac Ambrósio da Silva, Fábio Ferreira Amorim, Carlos H. Llanos, *Member, IEEE*, Sanderson César Macêdo Barbalho

Abstract—Existem poucas experiências utilizando abordagens de Aprendizagem Baseada em Problemas/Projetos (PBL) envolvendo projetos em situações críticas, como em *lockdown*. Tendo em vista que o papel do ensino de engenharia tem ganhado destaque dentro da metodologia STEM, que reúne conhecimentos de Ciências, Tecnologia, Engenharia, Matemática e Artes, este trabalho discute alguns problemas e estratégias utilizadas em um estudo de caso desenvolvido com alunos de graduação durante a pandemia de COVID-19. O estudo de caso consistiu no desenvolvimento de um ventilador mecânico adaptando estratégias PBL. O grande desafio foi incluir grupos de alunos de graduação de algumas universidades do Brasil, usando apenas plataformas virtuais para desenvolver processos de projeto de forma colaborativa em equipes de base técnica para o desenvolvimento de um ventilador mecânico de baixo custo. Portanto, esta pesquisa abrange duas etapas. A primeira foi a pesquisa-ação, onde professores e alunos trabalharam juntos para desenvolver o equipamento. Então, após seis meses de atividades totalmente realizadas remotamente, foi disponibilizado aos alunos um questionário para avaliação de aprendizado, motivação, dificuldades, entre outros. Este trabalho reflete esses dois momentos na execução do projeto. A análise da percepção do aprendizado e satisfação dos alunos demonstra que o projeto proporcionou um espaço de socialização em tempos de pandemia. Por fim, percebeu-se que o ambiente totalmente virtual não impactou negativamente os alunos.

Index Terms—Abordagem PBL, Ensino em Engenharia, Ventilador Mecânico, Pandemia, COVID-19

I. INTRODUÇÃO

A Pandemia do coronavírus (COVID-19) chamou a atenção para a capacidade limitada dos recursos de saúde para lidar com grandes fluxos de pacientes [1]–[6]. Entre as

complicações da COVID-19, a Síndrome do Desconforto Respiratório Agudo (SDRA) é a principal complicação em pacientes com doença grave, levando a um aumento significativo no número de pacientes que necessitam de ventilação mecânica [6]–[9]. Em estudos realizados nos Estados Unidos, 12 a 24 por cento dos pacientes hospitalizados necessitaram de ventilação mecânica [8], [9]. Assim, o aumento agudo da demanda por ventiladores mecânicos acima da capacidade disponível foi um problema crítico que os sistemas de saúde enfrentaram durante a pandemia de COVID-19 [1]–[4].

No início da pandemia, o Brasil enfrentou grande dificuldade para aumentar o número de ventiladores mecânicos, equipamentos essenciais para tratar os casos mais graves da doença Covid-19. Isso ocorreu devido à concorrência com países ricos, que aceitam pagar mais pelos equipamentos, à baixa capacidade produtiva das empresas nacionais, dada a alta demanda, e à complexidade de fabricação dos aparelhos. Indústrias nacionais e estrangeiras afirmavam que o número de pedidos de ventiladores mecânicos disparou desde o início da pandemia, e o mundo inteiro queria comprá-los, visto que esse aparelho é decisivo para garantir a sobrevivência de pacientes com falta de ar grave. No início da pandemia, segundo o Ministério da Saúde, havia 65.411 ventiladores mecânicos no Brasil, sendo 46.663 no Sistema Único de Saúde (SUS). Do total, 3.639 estavam em manutenção ou ainda não haviam sido instalados. Naquele momento, não era possível prever com precisão quantos aparelhos o país precisaria nas próximas semanas –isso dependeria do número de contaminações.

No contexto dos procedimentos de *lockdown* implementados no primeiro semestre de 2020, várias universidades do Brasil propuseram projetos para desenvolver ventiladores de baixo custo, que pudessem suprir a necessidade desse tipo de equipamento, principalmente na primeira onda da Covid-19. Assim, um grupo de professores da Universidade de Brasília (UnB) propôs a constituição de uma equipe interdisciplinar formada por alunos de diversas áreas da engenharia (produção, mecânica, mecatrônica, eletrônica e software). Para tanto, também foram contactados grupos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), do Instituto Federal de Brasília (IFB) e da Escola de Ciências da Saúde de Brasília (ESCS).

Nesse contexto, três dos quatro grupos estavam sediados em Brasília (Distrito Federal), enquanto um grupo estava na cidade de São Carlos (no estado de São Paulo). Portanto, a

Sérgio H. Evangelista é professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), SP, Brasil, e-mail: toddyprof@ufscar.br.

Guillermo Alvares Bestard é professor da Faculdade da Gama (FGA), Universidade de Brasília (UnB), Brasil, e-mail: guillermo@unb.br.

Fábio Henrique M. Oliveira é professor do Instituto Federal de Brasília (IFB), Brasil, e-mail: fabio.oliveira@ifb.edu.br.

Fábio Ferreira Amorim é professor da Escola Superior de Ciências da Saúde do Distrito Federal (ESCS), Brasil, e-mail: ffamorim@gmail.com.

Carlos H. Llanos é professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília (UnB), DF, Brasil, e-mail: llanos@unb.br.

Isaac Ambrósio da Silva trabalha na Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília (UnB), Brasil, e-mail: isaac.ambr@gmail.com

Sanderson César Macêdo Barbalho é professor do Departamento de Produção, Universidade de Brasília (UnB), Brasil, e-mail: sandersoncesar@unb.br.

ideia era utilizar/adaptar técnicas propostas na literatura de desenvolvimento de novos produtos [10], [11] para desenvolver o ventilador mecânico. Como a equipe estaria composta por muitos alunos, a literatura de educação em engenharia, como Aprendizagem baseado em Problema/Projeto (PBL) [12], [13], foi contextualizada a um modelo não presencial para demandar tarefas específicas para os alunos em apoio aos principais desenvolvedores que seriam os professores. Dessa forma, para atender a nossa proposta, foram criados grupos de trabalho baseados em temas específicos da engenharia, juntamente com uma área médica específica, que fossem capazes de gerar um produto de alta tecnologia, desenvolvido basicamente em parceria pelos professores e seus alunos. O grande desafio foi criar métodos de trabalho interdisciplinares que pudessem funcionar remotamente, tendo em conta que a única forma de realizar reuniões era por meio da utilização de videoconferências.

Assim, este trabalho tem como objetivo analisar o processo de aprendizagem dos alunos envolvidos no projeto segundo a sua percepção, procurando verificar o impacto dos métodos utilizados e o contexto em que as tarefas foram desenvolvidas. Assim, após seis meses de realização das tarefas, foi elaborado um formulário com um conjunto de perguntas que abrangem aspectos como benefícios obtidos na formação, desenvolvimento humano/pessoal (*habilidades individuais*), capacidades dos alunos obtidas para trabalhar em grupo (*habilidades de grupo*), melhorias técnicas, avaliando o impacto do trabalho remoto no desempenho e os efeitos do ambiente de pandemia no desempenho.

Consideramos que este estudo é fundamental para compreender a problemática da realização de projetos de alta tecnologia com alunos de graduação, tendo em vista a impossibilidade de encontros presenciais. Isso ganha mais importância dadas as difíceis circunstâncias pelas quais o Brasil passou no início da pandemia, incluindo seus impactos sociais e psicológicos que endossaram professores e alunos das universidades brasileiras.

Por fim, consideramos como ponto importante o fato de que em países como o Brasil, o retorno à normalidade é muito mais lento, considerando os aspectos socioeconômicos típicos dos países emergentes. Na perspectiva atual, os mecanismos de ensino nas universidades e escolas podem continuar a ser remotos ou com alguma forma híbrida (presencial e remota) durante vários meses. Assim, estudos sobre a atuação de alunos de graduação utilizando ferramentas de ensino à distância são de grande utilidade na proposição (ou adequação) de políticas públicas voltadas para a educação universitária em circunstâncias críticas, como a atual pandemia.

O restante deste artigo está dividido da seguinte forma: Seção II descreve alguns tópicos de educação em engenharia que serviram de suporte para este trabalho, Seção III-A descreve como o trabalho dos grupos foram organizados, Seção III-B descreve as questões gerais passadas para todos os alunos em todos os grupos, Seção III-C descreve as questões específicas postadas para cada grupo, Seção IV descreve o estudo de caso específico abordado nesta pesquisa, a Seção V mostra os resultados gerais, a Seção VI discute os resultados e, finalmente, a Seção VII apresenta as conclusões.

II. EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS (PBL)

O cenário educacional no ensino de engenharia mudou nos últimos 30 anos. Afasta-se da racionalidade que valoriza a objetividade e o currículo linear voltado apenas para o aprendizado técnico, e também tende a se afastar da visão reducionista do aprendizado por meio de aulas teóricas e provas. Desta maneira, o novo cenário busca um paradigma educacional que apoie a abordagem holística necessária para o desenvolvimento do aluno [14]. Vale ressaltar que as abordagens de ensino baseadas em palestras continuam dominantes na educação em engenharia, deixando os graduados mal preparados para entender as complexidades da profissão de engenheiro na vida real [15]. A abordagem baseada em palestras enfatiza o conhecimento processual e não consegue manter a atenção, levando a baixas taxas de frequência [16]. Isso significa que os alunos podem não estar motivados para ir à aula e, portanto, retêm informações de sala de aula que enfatizam a memorização e a recordação. Isso é problemático, pois a ênfase na memorização, ao invés da aplicação do conhecimento, não oferece aos alunos oportunidades de trabalhar efetivamente na aplicação do que está sendo ensinado em sala de aula. Isso contribui para o alto índice de evasão nos cursos de engenharia no Brasil, que é de quase 59% ao ano, segundo a Associação Brasileira de Ensino de Engenharia [17]. Concomitantemente, a *American Society for Engineering Education* [15] destaca que, para enfrentar a crescente lista de problemas globais complexos e interconectados, é necessário formar engenheiros capazes de lidar com a natureza multifacetada dos desafios que a humanidade enfrenta no século XXI, introduzindo um currículo integrador [18] onde a resolução de problemas complexos do mundo real, competências empreendedoras e engenheiros socialmente conscientes sejam valorizados [19].

A abordagem *Aprendizagem Baseada em Problemas/Projetos* (PBL), utilizada neste estudo, é uma abordagem instrucional centrada no aluno que capacita os alunos a realizar pesquisas, integrando teoria e prática para resolver um problema definido ou para levar à produção de um produto final. O problema/projeto é normalmente concluído com a apresentação de um relatório escrito e/ou oral, resumindo o procedimento utilizado para a produção do produto. O PBL tem sido amplamente utilizado para desenvolver as habilidades dos alunos [20]. Nessa metodologia, o aluno sai da posição passiva para receber o conteúdo educacional e passa para uma postura mais ativa ao associar a teoria aprendida na universidade com a prática, ainda durante o curso [21]. Um indicativo que corrobora a importância do PBL na Educação em Engenharia vem de [12]. Suas pesquisas, feitas de 2000 a 2016, evidenciaram que o tema vinha crescendo de forma destacada; por isso a abordagem PBL vem ganhando força e atenção entre os pesquisadores.

A literatura sobre abordagens de ensino e aprendizagem tem se mostrado extensa. Muitas universidades ao redor do mundo estão passando por uma transição do ensino tradicional de engenharia para o uso de novas abordagens, por exemplo, PBL. Uma quantidade significativa de trabalhos foi publicada

nos últimos anos e alguns princípios a serem destacados na abordagem PBL são discutidos em [12], [22]–[24], relacionado à organização do aprendizado, aprendizado interdisciplinar e aprendizado em equipe.

Os autores da referência [12] afirmam que o PBL é visto como uma forma de ensino e aprendizagem que é utilizada em determinados momentos nos cursos de graduação, mas que não é considerada uma estratégia geral de ensino. Autores como [13], [25]–[29] apresentam experiências em que o PBL é utilizado como elemento central ao longo de todo o curso de graduação em engenharia. Essas visualizações não são simultâneas. Ultimamente, [22]–[24] relataram experiências para aplicações exclusivamente baseadas em projetos, onde os alunos têm um trabalho a ser feito junto com seus professores, e o artigo descreve os resultados no aprendizado técnico e de *habilidades individuais*. O tema apresentado neste artigo é semelhante, onde um ventilador mecânico surgiu como um esforço importante de um conjunto de Universidades para contribuir no combate à pandemia de COVID-19 utilizando alunos de graduação como desenvolvedores juniores juntamente com seus professores. No contexto de situações de emergência, é importante estudar como as técnicas de ensino de engenharia se comportam em termos de melhorar o aprendizado do aluno, ou como podem funcionar quando a única forma de interação é por meio de plataformas de videoconferência. Portanto, este artigo apresenta como os alunos encaram essa empreitada e sua percepção de aprendizagem.

A. O papel do aluno no PBL

No PBL, a resolução de problemas não é a prioridade na aprendizagem [30]. Em vez disso, dois objetivos principais são enfatizados. Primeiro, os alunos precisam ser capazes de analisar as informações e os dados obtidos de várias fontes e recursos. Além disso, os alunos devem aprender com os desafios que surgem no processo de resolução. Adicionalmente, os alunos deverão elaborar um plano de trabalho e um relatório final, que deverão ser apresentados ao restante da turma. Grupos colaborativos de solução de problemas são uma característica fundamental do PBL. Levando em consideração as contribuições de [12], [21], [31], parte-se do pressuposto de que o PBL, aplicado por meio de uma estrutura de pequenos grupos, ajuda a distribuir a carga cognitiva entre os membros do grupo, potencializando o conhecimento distribuído entre eles e permitindo que todos os membros resolver problemas que normalmente seriam mais difíceis para um aluno sozinho. As características distintivas do PBL na visão de [32] são: (1) ênfase na responsabilidade dos alunos por seu aprendizado; (2) a natureza transdisciplinar ou multidisciplinar dos problemas; (3) teoria e prática são inseparáveis; (4) foco no processo e não nos resultados obtidos; (5) centrar-se na auto-avaliação e nos processos de avaliação pelos pares, em vez dos resultados de aprendizagem delineados pelo professor; e (6) ênfase na aprendizagem interpessoal e habilidades de comunicação. Em suma, a principal missão da PBL é proporcionar aos futuros profissionais uma formação que lhes permita dominar ferramentas e competências intelectuais de resolução de problemas.

B. O papel do professor na abordagem PBL

A ideia de construção do conhecimento já estava presente na obra de diversos autores, como Piaget, Vygotsky, Wallon, Freire, Freud, entre outros [33]. O PBL é baseado na teoria construtivista que afirma o conhecimento como resultado da aprendizagem, um processo no qual os alunos participam ativamente. Esse método, embora amplamente problematizado por teóricos como Paulo Freire [34], integra duas teorias educacionais: a teoria Piagetiana [35], que enfatiza a mudança conceitual e os processos psicológicos envolvidos na aprendizagem e no desenvolvimento intelectual, e a teoria Vigotskiana, que enfoca as relações sociais e o papel da educação no processo de geração de conhecimento [35].

No PBL, os professores criam problemas ou circunstâncias para levantar questões, preferencialmente com apelo prático, estimulando as reflexões necessárias entre o sujeito (aluno) e o mundo, como promove Paulo Freire [36], para chegar a soluções criativas.

No nosso caso, havia o desafio de enfrentar as tarefas desses professores em situação de emergência em um país como o Brasil, considerando as restrições na interação dos alunos com seus colegas e professores. Esses fatos criaram a necessidade de encontrar a melhor maneira de usar as ferramentas de reunião virtual, desenvolver métodos para acompanhar as atividades dos alunos, manter os alunos motivados e explorar maneiras de usar ferramentas de projeto de engenharia em que resultados parciais pudessem ser compartilhados e integrados.

C. Os desafios do uso do PBL em ambientes exclusivamente virtuais

Os últimos anos já haviam destacado a importância dos ambientes virtuais nas abordagens PBL [37]–[39], uma vez que os autores reconheceram a mobilidade virtual e a comunicação em canais ubíquos de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) como práticas significativas nas atividades de negócios contemporâneas [40]. De qualquer forma, as pandemias do COVID-19 enfatizaram a virtualização do ensino de engenharia [41] e impulsionaram o uso da digitalização nas faculdades de engenharia.

Entre as principais discussões sobre os contextos virtuais para a aprendizagem baseada em projetos, certos autores afirmam a importância dos *habilidades individuais* como limitações [42], mas também como impulsionadores do trabalho em equipe [38], apesar de alguma literatura sugerir a demanda por relações face a face para a realização de projetos de PBL [43].

Conforme afirmado em [37], *habilidades individuais* referem-se a competências que afetam a forma como interagimos com as pessoas, incluindo comunicação, escuta, negociação, trabalho em equipe, liderança, ética e comprometimento. Para Garcia et al. [37], *habilidades individuais* atingem níveis de realização mais altos por meio de plataformas específicas baseadas em equipe do que quando são usados repositórios de documentos tradicionais para o campus virtual. De acordo com [44], o estabelecimento consciente de metas, a ordem lógica das ações e a sinergia de esforços comuns

podem equilibrar a falta de presença pessoal no local em experiências arquitetônicas virtuais de PBL. Para [40], os alunos geralmente precisam de mais orientação e comunicação de e com seus professores nas aulas de *Desenvolvimento de Novos Produtos* executando projetos PBL. Os autores concluíram que falta infraestrutura de *e-learning* e (TIC) para esse tipo de curso universitário. Para [45], os engenheiros devem ser capazes de pensar criativamente, alternando efetivamente entre o pensamento divergente (desenvolver várias novas ideias) e o pensamento convergente (buscar uma ideia apropriada usando análises de engenharia).

Por outro lado, [39] descobriu que os alunos demonstraram pensamento mais divergente no projeto do laboratório virtual do que nos projetos do laboratório físico. No entanto, eles também comparam esses pontos de vista de pensamento com o projeto especializado e não mostram nenhuma diferença significativa. Além disso, a pesquisa não identificou soluções de projeto de maior qualidade quando comparadas a projetos presenciais. Por outro lado, [41] analisou a transição para o online no início da pandemia de COVID-19, descobrindo que as condições alteradas influenciaram a interação social de forma negativa; mas também que a reflexão em equipe parecia permitir que os alunos revertessem alguns dos efeitos adversos. Nesse caso, os alunos fizeram uso profundo de sistemas de mensagens instantâneas e jogos *online* para superar a separação imposta pela pandemia. Nessa mesma direção, [46] afirma que os alunos apreciam as respostas oportunas dos professores e colegas por meio de sala de reunião com a plataforma Zoom (por exemplo) ou e-mail, bem como gravações em vídeo de experimentos e palestras que permitem que os alunos aprendam em seu próprio ritmo. Esses autores também sugerem que transformar experimentos em seus equivalentes virtuais (envolvendo atividades iterativas) e conectar o conhecimento do assunto para resolver um problema do mundo real (relacionado ao COVID-19) motivou os alunos nas aulas online.

A literatura também confirma a importância do software e das ferramentas de aprendizagem no ensino de engenharia virtual baseado em PBL. Por exemplo, [47] explora o uso de aplicativos de mensagens instantâneas (por exemplo, Telegram) como espaço de comunicação da equipe no PBL. Os resultados apontam para maior participação no curso quando comparado ao sistema de mensagens assíncronas tradicional. No entanto, a análise não encontra melhora significativa na competência individual de trabalho em equipe. A referência [48] estuda *chatbots* educacionais como ferramentas de aprendizagem. Verificou-se que os *chatbots* melhoram o desempenho da aprendizagem e o trabalho em equipe. Verificou-se que eles facilitaram a colaboração entre os membros da equipe influenciando sua capacidade de ser uma equipe. No entanto, resultados de aprendizagem afetivo-motivacional, como percepção de aprendizagem, necessidade de cognição, motivação e autoeficácia criativa, não foram influenciados por eles. Finalmente, [49] analisa o impacto das salas de discussão, por exemplo, salas de bate-papo privadas onde pequenos grupos de 3 a 4 alunos discutem problemas específicos. Para este caso, as plataformas virtuais disponibilizam salas, como é o caso do Zoom, Google Meets ou Microsoft Teams. O

estudo demonstra um problema em que os alunos relatam essas ferramentas como capazes de permitir que os colegas os ajudem a aprender, e a crítica construtiva de colegas e professores os ajuda a melhorar sua compreensão do assunto. A pesquisa valida as salas de descanso como formas de virtualizar a discussão em grupos menores tão comuns nas abordagens PBL [13].

III. MÉTODOS

A. Os grupos de trabalho

Para realizar as atividades deste projeto (com base nas estratégias PBL discutidas na Seção II), foram criados quatro grupos de alunos para desenvolver o projeto do ventilador, onde cada grupo foi coordenado por um professor. Três professores são da Universidade de Brasília (UnB), um deles coordenou o grupo de engenharia de produção e outro o grupo de mecatrônica/eletrônica. O grupo de engenharia mecânica foi coordenado por um professor da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, em São Paulo), enquanto o grupo dedicado ao projeto do software do ventilador e da Interface Homem-Máquina (IHM) é da Universidade Federal Instituto de Brasília (IFB). Por fim, o grupo de trabalho da medicina foi coordenado por um professor da Escola de Ciências da Saúde de Brasília (ESCS).

Considerando as restrições geradas pela pandemia no Brasil, as reuniões de trabalho foram transmitidas por meio virtual, utilizando a ferramenta Teams da Microsoft (com licença adquirida pela Universidade de Brasília), além do Meets do Google para reuniões em grupo.

Nesse contexto, os quatro grupos foram formados da seguinte forma: (a) Engenharia de Produção: 5 alunos, (b) Engenharia Mecatrônica e Eletrônica: 4 alunos, Engenharia de Software: 3 alunos, Engenharia Mecânica: 4 alunos e Medicina: um aluno. Nos primeiros seis meses do projeto, o grupo teve encontros semanais de forma estruturada. Primeiramente com reuniões técnicas cobrindo as atividades de cada grupo, de acordo com a agenda dos professores e alunos. E na sequência, uma reunião geral semanal foi planejada para integrar os resultados de cada área e acompanhar o andamento geral do projeto.

Após seis meses, os professores trabalharam em um questionário para avaliar o efeito formativo deste projeto, bem como possibilidades de melhorias quanto ao envolvimento dos alunos e métodos de trabalho para potencializar os resultados do projeto. Este questionário é apresentado a seguir.

B. O questionário geral

Esta seção discute a estrutura geral do questionário utilizado para avaliar o impacto das atividades do projeto na formação do aluno, que busca avaliar os resultados obtidos nas estratégias PBL incorporadas nas atividades deste projeto e discutidas na Seção II. O formulário foi dividido em sete itens, levando em consideração aspectos como (1) benefícios mútuos (para o aluno e para o projeto), (2) habilidades pessoais desenvolvidas pelos alunos (*habilidades individuais*), (3) desenvolvimento de habilidades de trabalho em equipe (*habilidades de grupo*), (4) benefícios obtidos para cada área específica (referente a cada um dos grupos definidos), (5)

como as atividades virtuais ajudaram cada aluno em sua formação e desempenho, (6) como o ambiente de trabalho durante a pandemia afetou positiva ou negativamente cada aluno, e (7) aspectos gerais. Para cada questão de cada um dos itens (com exceção do item sete) o aluno deveria escolher uma nota de 1 a 5, variando de 'discordo totalmente' ou 'não importante' dependendo da questão, até 'concordo totalmente' ou 'muito importante'. No item sete o aluno poderia escrever comentários gerais.

O primeiro item do formulário refere-se a quais benefícios cada aluno obteve durante a elaboração das atividades do projeto. Para avaliar este item, foram considerados os seguintes critérios: (a) como a formação do aluno obtida por meio das diferentes disciplinas, em seus respectivos programas, foi relevante para as atividades do projeto, (b) como as atividades do projeto ajudaram a consolidar os conhecimentos obtidos durante seus cursos, (c) quais novos conhecimentos cada aluno adquiriu ao realizar as atividades indicadas pelos professores. A nosso critério, é importante avaliar os processos de reforço envolvendo as relações entre a formação que a universidade proporciona a cada aluno e as atividades práticas (envolvendo pesquisa) que possam aprimorar os conhecimentos adquiridos no programa.

O segundo item busca verificar em que medida as habilidades dos alunos foram fortalecidas em um amplo contexto de formação humana (denominado aqui de *habilidades individuais*). Nesse sentido, optamos por: atitudes, comprometimento e ética, interesse e curiosidade, proatividade, liderança, respeito pela opinião alheia, colaboração e cooperação e, por fim, flexibilidade e empatia.

O terceiro item tenta avaliar o impacto do trabalho nas habilidades dos alunos para trabalhar em grupo (aqui referido como *habilidades de grupo*). Para este caso, escolhemos os seguintes critérios: trabalho em equipe, comunicação, visão sistêmica do produto/problema, análise crítica, solução de problemas, estudo independente, trabalho autorregulado.

O quarto item refere-se às habilidades para cada área específica. Considerando a diversidade nas características dos grupos na Seção III-C, os critérios utilizados para cada caso serão descritos.

O quinto item busca verificar o impacto das atividades em grupo desenvolvidas virtualmente no aprendizado e treinamento dos alunos no uso de tecnologias do projetos. As atividades da equipe envolvem os seguintes pontos: (a) reuniões gerais com toda a equipe, (b) reuniões específicas com sua equipe de trabalho, (c) participação em reuniões de outras equipes, (d) utilização de área de documentação comum, (e) preparação de relatórios mensais, (f) apresentações para o grupo, (g) uso do software de gerenciamento de projetos Trello e ferramentas similares, e (h) preparação de relatórios para a Revisão Preliminar de Desenho (PDR) do projeto. Esse ponto é muito importante porque serve para avaliar o impacto das atividades virtuais realizadas pelos grupos durante a execução do projeto, considerando seus possíveis ganhos e perdas em relação às atividades presenciais.

O sexto item refere-se aos efeitos da pandemia sobre o desempenho sobre os alunos, considerando a impossibilidade de se encontrarem presencialmente com seus colegas e pro-

fessores, utilizando ferramentas de reunião virtual e compartilhando estratégias e ferramentas de projetos remotamente, em uma situação nunca antes vivenciada por todos.

Por fim, no último item, pedimos aos alunos que escrevassem comentários adicionais que lhes pareçam relevantes.

C. Perguntas específicas para membros do grupo

No quarto item, o questionário incluiu perguntas sobre os benefícios obtidos em temas específicos para cada grupo, durante a execução do projeto. Este item do questionário para todos os grupos é explicado a seguir.

Produção: O grupo de Engenharia de Produção teve papel fundamental para coordenar as atividades dos demais grupos e realizar a gestão necessária para garantir o fornecimento das partes funcionais do projeto (peças mecânicas, elétricas, eletromecânicas, entre outras). É importante ressaltar que o coordenador geral do projeto era o líder desse grupo. Embora a maioria dos alunos fosse do curso de engenharia de produção, havia alunos de outras áreas, como mecânica e mecatrônica. Além disso, nas reuniões periódicas das demais turmas, sempre havia um aluno dessa turma para registrar as atividades específicas e as dificuldades relatadas. Esse *feedback* foi importante para garantir coesão e sincronia ao grupo como um todo. As perguntas envolviam aspectos como (a) suprimentos, (b) gerenciamento de projetos e qualidade, (c) engenharia e projeto de produtos e (d) questões de desenvolvimento de novos produtos.

Mecânica: O grupo de Engenharia Mecânica foi responsável pelas atividades relacionadas com o estabelecimento de uma preparação contínua de desenhos de peças e montagens. Os aspectos a serem considerados nas questões do formulário: (a) orientações para questões de projeto mecânico; (b) estabelecer uma estrutura de trabalho inicial para questões mecânicas, como um orçamento limitado para fabricação; (c) um conjunto simplificado de peças e um bom equilíbrio entre as filosofias DFA (*Design for Assembly*) e DFM (*Design for Manufacturing*); (d) diagrama esquemático para fins funcionais, como sistema pneumático, sistema de medição; (e) adaptação do sistema de teste de bancada; (f) idealização dos arranjos mecânicos gerais, considerando seu envelope, dimensões máximas, peso máximo, entre outros, (g) elaboração de croquis feitos à mão que eram enviados em cada encontro para orientação dos alunos; (i) evolução primeiramente baseada em desenhos de sistemas funcionais pneumáticos; (j) evolução das ideias discutidas desde as propostas de alteração dos esboços até os rascunhos finais; e (k) ações tomadas para a evolução do CAD 3D.

Eletrônica: O grupo de Engenharia Eletrônica (composto por alunos de eletrônica e mecatrônica) teve a tarefa de projetar o sistema de controle, envolvendo tarefas de modelagem do sistema pneumático, do sistema pulmonar, do projeto de placas de circuito impresso (*Printed Circuit Board –PCBs*), bem como a especificação e seleção de sensores e componentes eletrônicos em geral. Para essas atividades, deveriam ser realizadas tarefas de especificação de requisitos em conjunto com o grupo de Mecânica e Medicina para definir os modos ventilatórios a serem incluídos no projeto,

bem como os valores mínimos e máximos de pressão, volume e fluxo. Além disso, os alunos tiveram que ser treinados em ferramentas de projeto/simulação. É importante ressaltar o caráter interdisciplinar do grupo, formado por alunos dos cursos de mecânica e engenharia eletrônica. As perguntas tentam cobrir os benefícios que os alunos tiveram em assuntos específicos, como (a) aspectos do projeto de sistemas embarcados (b) aplicações da teoria de controle em ventiladores mecânicos, (c) modelagem e simulação de processos em ferramentas baseadas em software, (d) sensores e questões de seleção, (e) projeto baseado em sistemas digitais e microcontroladores, e (f) simulação de circuitos eletrônicos em plataformas adequadas.

Software: Ao grupo de Software coube o desenho da interface gráfica (através de um ecrã táctil), bem como o desenvolvimento de uma aplicação móvel de apoio aos utilizadores. O trabalho envolveu também o desenho de uma interface adicional, com botões para auxiliar na configuração funcional do ventilador e leds de alarme, entre outros. Para essas atividades, tarefas de especificação de requisitos deveriam ser realizadas em conjunto com o grupo de Mecatrônica e Medicina a fim de definir quais informações deveriam aparecer na tela. Além disso, os alunos tiveram que ser treinados em ferramentas de projeto/simulação para construir a interface do usuário. Neste caso, as perguntas buscam avaliar os avanços dos alunos em tópicos de computação, como (a) análise e projeto de sistemas, (b) análise de requisitos de software, (c) algoritmos e programação de computadores, (d) Interface Homem-Máquina (IHM) e tópicos em projeto de usabilidade.

Medicina: O grupo de Medicina, que era composto apenas pelo professor e um aluno, ficou encarregado de verificar aspectos da fisiologia respiratória, bem como repassar aos demais grupos a experiência em ventilação mecânica, uma vez que o professor é especialista em terapia intensiva. Com seu aluno, eles também planejaram e desenvolveram um conjunto de testes pré-clínicos. Adicionalmente, outros aspectos, como o planejamento de testes em animais, ficaram a cargo desse grupo.

IV. ESTUDO DE CASO

Atualmente, os ventiladores mecânicos possuem uma tecnologia complexa com controle volumétrico e pressórico [20], [50], [51]. Estes aparelhos são compostos por válvula inspiratória, válvula expiratória, sensores de pressão, fluxo e fração inspirada de oxigênio (para permitir a coleta de medidas para controlar e monitorar variáveis), válvulas proporcionais (para controlar a mistura de oxigênio e ar comprimido), um circuito de controle com uma unidade central de processamento ou um controle distribuído (para controlar as válvulas inspiratória, expiratória e proporcional de acordo com as configurações do operador e monitoramento por sensores de pressão, fluxo e oxigênio em diferentes modos de ventilação), e painel de controle e monitoramento para Interface Homem-Máquina (IHM). Este dispositivo, quando interposto entre o paciente e fontes pressurizadas de oxigênio e ar comprimido, é capaz de proporcionar uma mistura pré-determinada de ar (oxigênio e outros gases) para dentro dos pulmões de forma cíclica

através de circuitos ventilatórios (com ramos inspiratórios e expiratórios), que são conectados por uma conexão tipo Y ao tubo endotraqueal, controlando a velocidade e a quantidade de ar a ser inalado [20], [50], [51]. O ventilador mecânico visa substituir total ou parcialmente o trabalho muscular inspiratório e o controle neural da ventilação, realizando a ventilação alveolar para promover a troca gasosa em pacientes com insuficiência respiratória [20], [50]. Entretanto, embora a ventilação mecânica seja um recurso médico capaz de salvar vidas, seu uso deve ser criterioso e com monitoramento rigoroso dos parâmetros aplicados, pois pode agravar ou mesmo levar ao desenvolvimento de novas lesões pulmonares com piora da função pulmonar e lesões irreversíveis ou danos fatais que podem resultar de vários mecanismos (como barotrauma, volutrauma, atelectrauma, biotrauma e ergotrauma) [20], [50], [52]. Nesse projeto, os alunos de graduação tiveram que apresentar um plano de trabalho elaborado com o auxílio dos professores. Os alunos foram estimulados a estudar os fundamentos da ventilação mecânica e, à medida que as tarefas foram desenvolvidas, aprenderam os conceitos necessários para solucionar novos desafios de projetos. Tudo teve que ser feito remotamente por causa das restrições da pandemia.

A. Estrutura geral do ventilador mecânico projetado pelos grupos

No contexto geral, o ventilador mecânico projetado pelos alunos é composto por (a) uma linha inspiratória e (b) uma linha expiratória que se une em um elemento terminal denominado ípsilon (Y). Este elemento terminal é introduzido pela equipe médica através da boca (ou nariz) do paciente até a traqueia. Explicaremos a seguir o projeto geral desenvolvido pelas equipes. O resultado do projeto realizado com o apoio dos alunos de graduação é mostrado na Fig. 1.

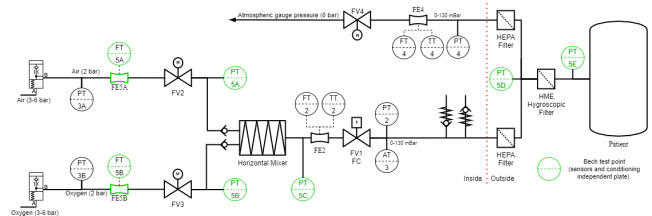


Fig. 1: Diagrama detalhado do ventilador mecânico.

A linha inspiratória é alimentada por entradas de ar comprimido e oxigênio a uma determinada pressão, onde após um processo de redução de pressão os gases são misturados por um dispositivo específico: o *Misturador Horizontal*, ver Fig. 1. Ambas as linhas possuem válvulas de acionamento do tipo proporcional, que ao serem acionadas por um controlador, obtêm a mistura desejada (previamente determinada pela equipe médica), fornecendo assim valores de pressão e vazão definidos pelo sistema de controle (ver Fig. 1). Nesta figura, as entradas de ar e oxigênio são controladas pelas válvulas proporcionais FV2 e FV3 e misturadas na proporção certa definida pelo médico para cada paciente. Sensores de pressão (PT2, PT3A, PT3B e PT4), sensores de fluxo (FT2 e FT4) e oxigênio (AT3) nas linhas inspiratória e expiratória permitem

a realização de medições para controle dessas variáveis. Os algoritmos de controle executados em um microcontrolador devem garantir que a resposta do sistema seja a definida pelo médico. As linhas inspiratória e expiratória unem-se ao elemento terminal. Nesse caso, um sinal de término (ciclagem), que pode ser por volume corrente, tempo inspiratório, fluxo ou pressão, faz com que o ventilador pare de forçar a entrada de ar na via aérea central. Um conjunto de complexos mecanismos de engenharia acontecem durante um ciclo ventilatório, de acordo com as especificidades de cada paciente. Sua descrição detalhada está fora do escopo deste artigo.

O ciclo respiratório de um paciente sob ventilação mecânica segue quatro fases interligadas: (1) o disparo (tempo, pressão e fluxo), (2) a inspiração no qual o pulmão é insuflado, superando as propriedades elásticas e resistivas do sistema respiratório, (3) ciclagem onde há mudança da fase inspiratória para expiração (pressão, fluxo, tempo e volume) e (4) expiração onde os pulmões são esvaziados. A expiração ocorre passivamente, com o ar fluindo dos alvéolos com maior pressão para as vias aéreas centrais com menor pressão, e para isso é necessário adicionar um circuito expiratório que cubra todas as fases da respiração humana.

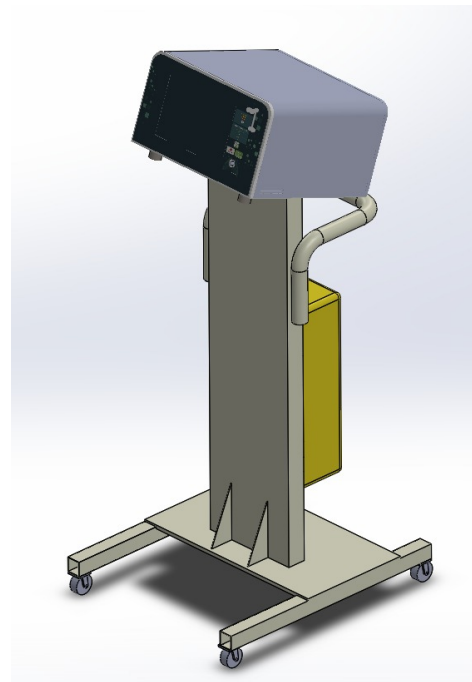


Fig. 2: Proposta de projeto mecânico para o ventilador.

B. Os artefatos produzidos por cada grupo de alunos

O projeto e a construção do ventilador compreendem basicamente os seguintes aspectos, que foram abordados pelos grupos de projeto:

- *O sistema mecânico:* É composto pelo sistema pneumático, bem como pela estrutura mecânica do equipamento, que compreende um alojamento superior e um alojamento inferior (em amarelo), conforme Fig. 2. A caixa superior compreende todo o sistema pneumático, o sistema de controle e o sistema de Interface Homem-Máquina (IHM). Na caixa inferior (cor amarela), foi alocado o sistema geral de fornecimento de energia (incluindo baterias).
- *O sistema eletrônico e de controle:* É composto por três placas de circuito impresso (PCBs), (a) a placa de controle principal, (b) a placa de drivers e (c) a placa do painel HMI. Além disso, está incluído o sistema de energia geral. Esta parte também envolveu o projeto do *software* embarcado nos microcontroladores (o *firmware*). A Fig 3 mostra uma das placas projetadas.
- *A Interface Homem-Máquina (HMI):* Envolve o projeto da interface, bem como a programação das telas. A Fig. 4 mostra uma das telas projetadas na interface do equipamento.

Assim, os produtos gerados por cada grupo são descritos a seguir:

- *Grupo de produção:* O agendamento, o planejamento da sincronização das atividades do grupo, as especificações dos exames e a apresentação da proposta de certificação para a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária).
- *Grupo de Mecânica:* A estrutura mecânica e o projeto do circuito pneumático.

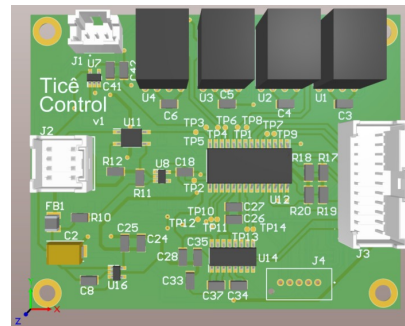


Fig. 3: A placa de controle principal do ventilador.

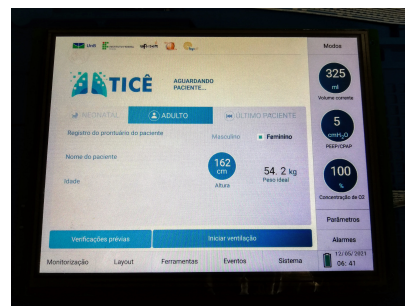


Fig. 4: A interface homem-máquina do ventilador (IHM).

- *Grupo de Eletrônica:* O projeto das três placas de circuito impresso (PCB), o desenvolvimento do *firmware* para os dois microcontroladores utilizados e o projeto do sistema de instrumentação.
- *Grupo de Software:* O projeto e implementação de telas HMI.
- *Grupo de Medicina:* Descrição e definição dos modos ventilatórios a serem incluídos no ventilador;

especificação da mecânica pulmonar para apoiar o projeto de engenharia.

V. RESULTADOS

Avaliações das respostas para perguntas gerais

Para avaliar cada uma das questões dos itens calculamos as médias aritméticas das notas (atribuídas aos alunos) para cada grupo e construímos os respectivos gráficos. Por exemplo, a Fig. 5 mostra as médias das respostas de todos os grupos às 3 questões do primeiro item. No caso da Fig. 6, cada conjunto de barras representa as médias das pontuações de cada um dos grupos de alunos para as questões relacionadas com *habilidades individuais*, representadas pelo cores. Da mesma forma, a Fig. 7 representa de forma semelhante as médias das respostas para o terceiro item (*grupo-competências*). Da mesma forma, as figuras 8 e 9 mostram as médias das notas do quinto e sexto itens, estimando o impacto das atividades em grupo virtual e os efeitos da pandemia no desempenho dos alunos, respectivamente.

Para obter valores globais para cada questão utilizamos a *média aritmética ponderada* (ver Eq. 1), considerando que o tamanho amostral dos grupos não é igual.

$$\langle \hat{x} \rangle = \frac{\sum_{j=1}^M N_j \bar{x}_j}{\sum_{j=1}^M N_j}, \quad (1)$$

onde \bar{x}_j é a média aritmética de cada amostra e N_j é o número de elementos da amostra j . Isso nos permite obter valores válidos incluindo todas as amostras (todos os grupos).

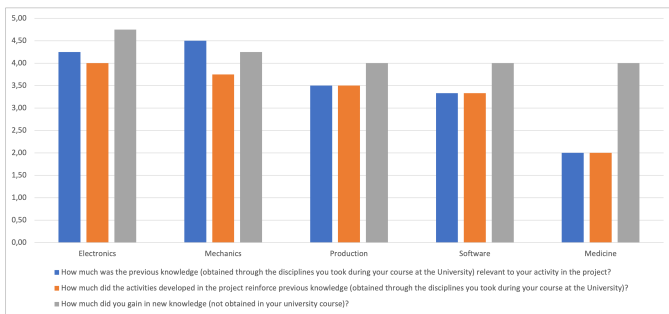


Fig. 5: Média das notas dos benefícios observados durante as atividades realizadas (primeiro item).

Para o primeiro item (relacionado à Fig. 5, os *benefícios obtidos*) a média aritmética ponderada calculada (denominada aqui de *média geral*) levando em consideração as médias parciais de cada grupo para cada questão são: (a) relevância do conhecimento prévio para este projeto (3,81), (b) fortalecimento do conhecimento adquirido anteriormente devido à participação no projeto (3,56) e (c) novos conhecimentos adquiridos por meio das atividades do projeto (4,25). Pode-se observar que os alunos em geral relatam que os novos conhecimentos obtidos com a participação no projeto foram mais importantes para a realização das atividades solicitadas. Pode-se observar no grupo de trabalho mecânico a resposta da primeira questão está acima da média geral, principalmente pela relativa estabilidade do conceito [53] aos circuitos

pneumáticos na ventilação mecânica (tema muito importante para este grupo). Isso pode ser explicado pelo fato de que as competências técnicas exigidas aqui são bem estabelecidas e bastante comuns nos currículos de Engenharia Mecânica, mas durante esse período de desenvolvimento a questão maior para a mecânica não apareceu.

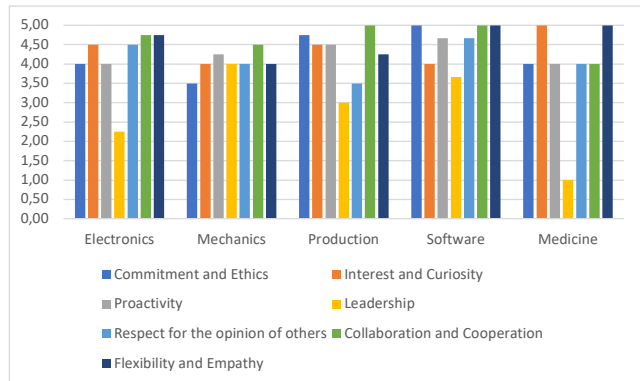


Fig. 6: Média das pontuações das *habilidades individuais* desenvolvidas (segundo item).

Para o segundo item (relacionado à Fig. 6, o *habilidades individuais*), as médias globais obtidas (tendo em conta as médias parciais de cada grupo) são as seguintes (por ordem decrescente): colaboração e cooperação (4,75), flexibilidade e empatia (4,50), interesse e curiosidade (4,31), comprometimento e ética (4,25), proatividade (4,31), respeito pela opinião dos outros (4,13), liderança (3,06). Pontuações altas podem ser observadas em todos os itens, exceto no item liderança. Este último resultado pode ser explicado pelo fato dos grupos terem forte liderança por parte dos professores, o que pode ter impedido o desenvolvimento da liderança nos alunos. Se analisado por grupos, o maior nível de desenvolvimento de habilidades foi “colaboração e cooperação” com nota máxima para todas as áreas técnicas. Talvez essa pontuação alta esteja ligada às circunstâncias geradas pelo ambiente, no qual cada aluno trabalhava em casa, mas valorizava mais a necessidade de troca de conhecimento e ajudar seus colegas nas tarefas atribuídas a cada grupo.

A análise do item relacionado com *habilidades de grupo* (ver Fig. 7) mostra as seguintes médias gerais (tendo em conta as médias de todos os grupos) em ordem decrescente: visão sistêmica do produto/problema (4,38), estudo independente (4,31), trabalho autorregulado (4,25), trabalho em equipe (4,25), análise crítica (4,25), resolução de problemas (4,13) e comunicação (3,94). É interessante ressaltar que o item *estudo independente* foi colocado no formulário devido ao fato de que para se ter um bom relacionamento no grupo é necessário desenvolver a capacidade individual de aprendizagem. Nesse caso, os alunos apontaram essa questão como fundamental para o desenvolvimento das atividades em grupo. A visão sistêmica da concepção do projeto é uma questão importante na prática da engenharia e destacada pelos alunos em nossa pesquisa.

As pontuações que os alunos atribuíram às questões do quinto item (representadas na Fig. 8) evidenciam os maiores

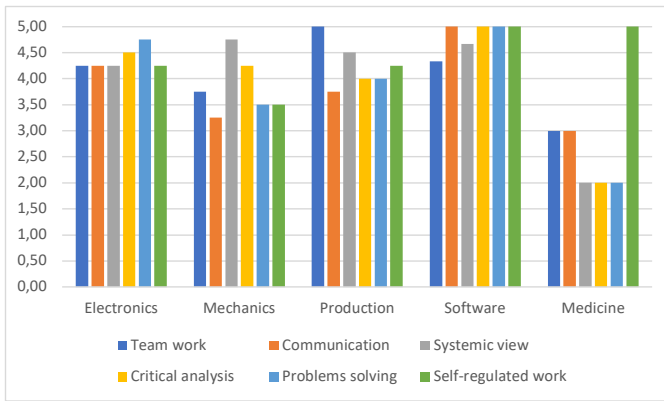


Fig. 7: Média das pontuações para *habilidades de grupo* desenvolvidas (terceiro item).

impactos positivos nas *reuniões específicas de equipe de trabalho* (média geral de 4,63), seguidas das *apresentações ao grupo* e apresentação de relatórios mensais (ambos com média global de 3,75). Em seguida, reuniões gerais com toda a equipe (3,44), utilização de área comum de documentação (3,31), utilização da ferramenta de gerenciamento de projetos Trello (3,31), elaboração de relatório para o PDR do projeto (3,19) e participação em reuniões de outras equipes (2,88). Pode-se observar que as médias neste item caíram porque o grupo de medicina (formado por um único aluno) não deu notas altas para as questões propostas. Isso pode ser explicado porque dito grupo não teve reuniões específicas, e as reuniões gerais eram voltadas para questões de engenharia no momento em que o questionário foi respondido. De qualquer forma, o comportamento apresentado é consistente, no sentido de que o maior impacto relatado na aprendizagem ocorreu nas discussões nos grupos específicos, onde os alunos puderam aprofundar seus conhecimentos e habilidades.

No sexto item (média das pontuações representadas na Fig. 9) referente ao impacto da impossibilidade de trabalhar presencialmente (questão 1) as pontuações foram baixas (média geral de 2,28), o que mostra que os alunos se adaptaram bem à nova situação de trabalho virtual. Além disso, as notas atribuídas à questão 2 (“sobre as vantagens das reuniões virtuais em relação às presenciais”) foram altas (média geral de 4,23). Por outro lado, a avaliação das ferramentas utilizadas foi alta (média geral média de 4,27). Finalmente, o impacto do trabalho remoto parece ter tido pouco efeito no sentimento de proximidade entre os alunos (média geral de 3,24). Este conjunto de resultados sugere a capacidade de adaptação dos alunos ao espaço de trabalho virtual decorrente da pandemia de COVID-19.

Avaliações de respostas para perguntas específicas

A avaliação do quarto item (perguntas técnicas específicas para cada grupo) foi feita por meio da média aritmética para cada questão específica (mostrada nas figuras 10 a 13). Adicionalmente, calculamos uma *média geral* levando em consideração as médias de todas as questões. Deve ser lembrado que as perguntas foram diferentes para cada grupo. Um ponto a ser observado é que pontuações baixas podem

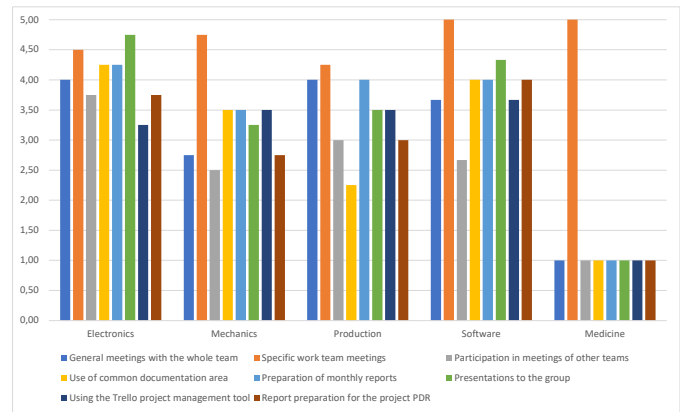


Fig. 8: Média das notas sobre o impacto das atividades na formação do aluno (quinto item).

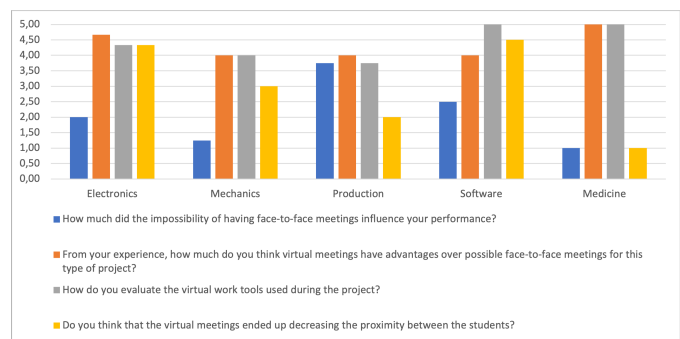


Fig. 9: Média das notas referentes aos efeitos da pandemia no desempenho dos alunos (sexto item).

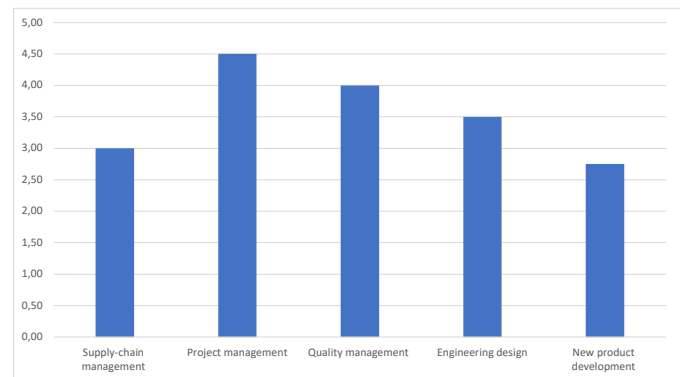


Fig. 10: Diagrama de pontuações para questões específicas sobre produção.

ser interpretadas de duas maneiras. A primeira pode mostrar a dificuldade de um aluno em obter benefícios em cada disciplina questionada. A segunda pode ser interpretada como significando que o aluno já tinha domínio do assunto e sentiu pouco benefício em aprender nesse assunto.

A Figura 10 representa as médias das notas atribuídas pelos alunos do grupo de produção, onde a média geral foi de 3,55. Nesse caso, as maiores pontuações podem ser observadas nos itens *gerenciamento de projetos* (média aritmética de 4,50), *gerenciamento da qualidade* (4,00) e *projeto de engenharia* (3,50). Esta última era esperada porque os alunos de produção

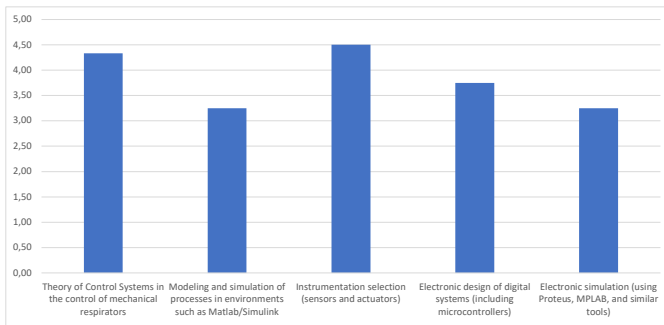


Fig. 11: Diagrama de pontuações para questões específicas de eletrônica.

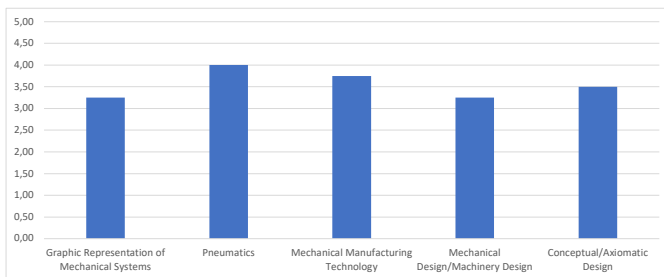


Fig. 12: Diagrama de pontuações para questões específicas de mecânica.

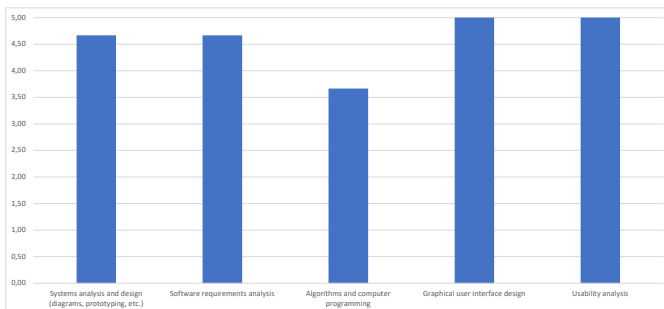


Fig. 13: Diagrama de pontuações para questões específicas sobre software.

serviam de interface de gestão com as outras turmas do projeto, e isso era estimulante para eles. Os temas *Gestão da cadeia de suprimentos* e *Desenvolvimento de novos produtos* foram um assunto centralizados pelo coordenador do projeto, sendo difíceis de ensinar/aprender em apenas seis meses (ambos com notas médias de 3,00).

A Figura 11 mostra as notas atribuídas pelos alunos do grupo de mecatrônica, cuja média geral foi de 3,95. As pontuações mais altas foram para *plataformas de trabalho colaborativo* e *seleção de instrumentação* (média aritmética de 4,50). *Teoria dos sistemas de controle no controle de ventiladores mecânicos* e *projeto eletrônico de sistemas digitais* (incluindo microcontroladores) obtiveram pontuações médias de 3,75. O uso de *simulação eletrônica* (usando Proteus, MPLAB e ferramentas similares) teve nota média de 3,25. O último caso pode ser explicado porque os alunos já tinham experiência no uso dessas ferramentas de projeto.

A Figura 12 mostra as notas atribuídas pelos alunos do

grupo de mecânica, cuja média geral foi de 3,55. A pontuação mais alta foi para *projeto mecânico pneumático* (média aritmética de 4,00) e *tecnologia de fabricação mecânica* (3,75). *Desenho conceptual/axiomático* é um tema importante na tarefa desenvolvida (3,50) e obteve uma classificação relativamente elevada. Os alunos deram notas mais baixas para as questões *desenho mecânico/desenho de máquinas* e *representação gráfica de sistemas mecânicos* (3,25). O primeiro mostra que para o tempo atual de desenvolvimento do projeto, a complexidade real do projeto não desafiou suficientemente os alunos quando analisado em termos de seu histórico de conhecimento real. Embora este último seja bastante semelhante ao primeiro item, a particularidade aqui reside no fato de que o processo de elaboração de esboços manuais com representação mecânica padrão para peças foi feito exclusivamente pelo professor titular deste grupo. É possível que uma questão importante aqui seja a cultura de preparação de desenhos pelos alunos principalmente via software de desenho assistido por computador (CAD), com a presunção de que isso basta para o projeto global. No entanto, deve-se enfatizar que uma ferramenta tradicional de comunicação de um projetista é sua capacidade de representar ideias rápidas por meio de desenhos à mão. Caso contrário, pode surgir algum nível de deficiência cognitiva e dependência do trabalho de outras pessoas. Sugere-se aqui que esta questão seja investigada profundamente em trabalhos futuros.

A Figura 13 mostra as notas atribuídas pelos alunos do grupo do software, cuja média geral foi de 4,60. As pontuações mais altas foram para *projeto gráfico da interface do usuário* e *análise de usabilidade* (ambos com média aritmética de 5,00). Além disso, *análise e projeto de sistemas* e *análise de requisitos de software* obtiveram médias de 4,67. *Algoritmos e programação de computadores* teve média de 3,67. É importante ressaltar que os alunos ficaram muito empolgados em trabalhar na interface gráfica (IHM) que vai garantir a usabilidade do equipamento pela equipe médica.

VI. DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS E A EXPERIÊNCIA NESTE PROJETO

O projeto foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF). Assim, todos os alunos receberam uma bolsa de estudos para trabalhar no projeto. No início do processo, foi solicitado ao grupo de professores a escolha de alunos interessados em trabalhar no projeto. Nesse contexto, a pequena quantidade de alunos por turma pode ser explicada pois a divulgação do projeto aos alunos foi complexa devido ao *lockdown*, ao tempo limitado para divulgação do projeto e ao orçamento de bolsas disponível. No entanto, sem considerar o grupo de medicina (um aluno), a média de alunos recrutados por grupo foi de quatro, um bom número para fins de projeto de engenharia. Nesse contexto, o único aluno do grupo de medicina foi fundamental para discutir aspectos médicos com os alunos de engenharia, como o significado dos modos ventilatórios e da mecânica pulmonar. Considerando que foi utilizada uma média ponderada para comparar as métricas, os resultados são consistentes com o tamanho dos grupos. Portanto, o tamanho do grupo de medicina não afetou

os resultados gerais da pesquisa. Por fim, nossa ideia foi mostrar comparativamente a visão dos alunos para este estudo de caso, principalmente no que diz respeito ao ensino de engenharia, para servir de subsídios para futuras pesquisas.

Nesse contexto, o questionário teve como objetivo avaliar como o conhecimento previamente aprendido foi reforçado pela participação em um projeto prático, algo bastante estudado na literatura PBL, e como o projeto trouxe novos conhecimentos para os alunos. As respostas dos alunos confirmaram todos esses detalhes. Mas algumas perguntas também tentaram determinar o impacto de atividades exclusivamente remotas no desempenho e bem-estar dos alunos. A partir dos resultados dos questionários, percebeu-se que o ambiente totalmente virtual não tem sido percebido como um impacto negativo aos alunos, corroborando com pesquisas anteriores (vide [41]). Isso deve ser sopesado com os fatos vivenciados durante a pandemia (principalmente o *lockdown*), em que a liderança exercida pelos professores, e a automotivação para trabalhar em algo significativo em tempos de pandemia, mantiveram a motivação dos alunos, como sugerido por [46].

Um ponto observado nas respostas escritas pelos alunos no sétimo item do questionário é que o apoio dos professores que conduziam os grupos foi fundamental. Os professores esforçaram-se por manter uma boa comunicação, motivando diariamente os alunos. A literatura anterior aponta que as apresentações são elementos essenciais nas experiências de PBL, e nossos dados reforçam isso (Fig. 8), no qual relatórios mensais, preparação para revisão por pares (PDR) e apresentações para todo o projeto de equipe foi destaque. Apesar disso, reuniões de grupo específicas (por área técnica) são mais valorizadas como momentos de aprendizado do que reuniões gerais com toda a equipe, o que sugere que os alunos gostaram mais do aprendizado técnico do que da compreensão integrativa dos desafios do projeto. Isso também sugere uma possível demanda para reforçar o trabalho em grupos menores com assuntos semelhantes, onde os alunos possam sentir menos pressão de apresentações formais e estreitar os laços com seus colegas de equipe. Abre questões para compreensão: (1) o que é mais crítico em projetos complexos, aprender disciplinas tecnicistas ou entender todos os desafios do projeto? E (2) o que é mais difícil de entender e trabalhar no currículo atual que temos no ensino de engenharia? As reuniões gerais eram muito complexas e demoradas, com quase três horas de duração ao final das sextas-feiras. Esse horário já era insatisfatório em geral, e a matéria era estressante, pois cada aluno tinha que ouvir temas de outras disciplinas, sendo cansativo. Esta questão qualitativa reforça o aspecto da automotivação já mencionado, uma vez que a maioria dos alunos concluiu o projeto, assim como todo o conjunto de professores.

Discutindo a percepção dos professores em relação às atividades realizadas remotamente com o PBL, a literatura atual reforça o papel facilitador dos professores, conforme discutido em [12]. No entanto, em projetos da vida real, como aqui relatados, foi realizada uma abordagem mais empresarial, em que os professores assumiram o papel de engenheiros seniores [54], desempenhando, portanto, um papel mais dominante na resolução de problemas e ensinando simultaneamente. Consequentemente, os professores exerceram liderança fazendo,

não facilitando, o que pode explicar algumas *habilidades individuais* destacadas, como curiosidade, empatia, comprometimento, colaboração e trabalho autorregulado, como mostra a Fig. 6. Além disso, algumas *habilidades de grupo* (ver Fig. 7) emergiram como importantes nos resultados, como trabalho em equipe, comunicação, visão sistêmica e trabalho autorregulado. Os resultados também mostraram que os alunos se sentiram orgulhosos por poder trabalhar em um projeto que visa salvar vidas. Por fim, na percepção dos professores, o uso de ferramentas virtuais não afetou negativamente o desempenho do aluno, talvez porque essa geração seja alfabetizada digitalmente e interaja facilmente com meios digitais [41].

Por outro lado, as respostas ao último item da questão aberta do questionário (“comentários adicionais”) foram muito positivas, o que mostra qualitativamente o impacto das tarefas nos alunos, os quais salientaram, na sua maioria, os benefícios pessoais percebidos durante a execução das tarefas.

Como exemplo, colocamos aqui quatro respostas na forma de “comentários adicionais” de alunos de diferentes grupos:

- 1) “Acredito no potencial desse projeto e pretendo levá-lo até o fim. As contribuições para minha vida profissional, como já dito, são de grande valia. Espero poder ajudar, mesmo com as minhas limitações de inteligência e de experiência. Por fim, muito obrigado pela oportunidade e confiança”.
- 2) “Acredito que a metodologia de projeto a distância pode auxiliar projetos futuros, e a necessidade de reuniões presenciais não se torna mais latente, e na maioria dos casos até mesmo dispensável”.
- 3) “O projeto foi e está sendo de imenso aprendizado e evolução acadêmica, profissional e pessoal para mim. A modalidade totalmente remota impõe mudanças em nosso comportamento e com a maneira de lidar com nossas responsabilidades. A interação com professores que possuem uma vasta experiência, conhecimentos acadêmicos e que sempre mantém a humildade para lidar com novas situações e diferentes pontos de vistas me mantém estimulado a sempre manter o interesse em adquirir novos conhecimentos para contribuir dentro e fora do projeto”.
- 4) “Em geral, observei várias vantagens e desvantagens sobre a forma de se fazer um projeto online. O lado bom seria, a mobilidade e facilidade de se reunir resolver problemas e várias outras nesse quesito. Porém, diminuí os laços interpessoais. Esse problema é gerado, talvez, pela falta de experiência (algo do mundo todo) em formar laços fortes pela internet, algo que com o tempo seria mais bem desenvolvido”.

VII. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou a experiência de desenvolver um ventilador mecânico no contexto de uma pandemia. Os professores experimentaram uma abordagem PBL para trabalhar com os alunos para projetar um produto complexo em um momento de pandemia, no qual era impossível realizar reuniões presenciais. Além disso, os membros eram de diferentes instituições e estados do país. Por ser um projeto multidisciplinar, a realização de atividades de projeto em diferentes áreas envolvendo discussões em grupo foi essencial. Nessas circunstâncias, era

importante avaliar o desempenho e o bem-estar dos alunos durante a execução das atividades. Um ponto observado foi o entusiasmo dos alunos durante as atividades, tendo em vista que, no início da pandemia, as universidades brasileiras foram obrigadas a suspender as aulas enquanto se estudavam formas de dar continuidade às aulas remotamente. Uma vez que as aulas foram totalmente suspensas em março de 2020 e só foram retomadas em setembro de 2020 (na modalidade remota), houve um período em que todos os alunos das instituições de ensino ficaram sem nenhuma atividade letiva. Isso explica, em parte, o grande entusiasmo dos alunos, que conseguiram manter as atividades de aprendizagem vinculadas a um projeto de grande relevância social.

Apesar do objetivo do projeto não ser o ensino, toda a equipe de projeto foi composta por professores e alunos, e muitos novos conceitos foram ensinados por meio de uma abordagem PBL visando o desenvolvimento do produto. Este artigo pretendeu entender a aplicação PBL em tal contexto. Além disso, havia o detalhamento de como as atividades obrigatoriamente remotas dificultariam a concretização de tais ideias. Nossos dados demonstraram que um grande número de conteúdos em todas as áreas técnicas não foi estudado anteriormente (Fig. 5), sendo novo para os alunos (vide Figs. 10 a 13). A literatura também afirma que o PBL se baseia na aprendizagem interdisciplinar e no trabalho em equipe. Nossos dados mostram que os alunos valorizaram a visão sistêmica permitida pelas atividades e a metodologia do projeto, bem como a empatia, respeito, colaboração e comunicação (Figs. 6 e 7). Também valorizaram mais os encontros temáticos, bem inseridos em sua disciplina, do que os encontros generalistas com demandas multidisciplinares estressantes. Pesquisas futuras podem explorar as tarefas multidisciplinares e satisfação, ou mesmo, sua relação com a autoaprendizagem para educação em projeto de engenharia em forma de T [12].

Como limitação, este estudo apresenta um estudo de caso de produto bastante complexo. Talvez a complexidade do projeto possa alavancar o uso dos resultados obtidos. Por exemplo, em projetos menos complexos, os professores podem delegar mais tarefas de planejamento para os alunos, aumentando seu nível de formação de liderança. Para um produto complexo como este, a experiência do professor [55] determina o perfil de liderança para todo o projeto. A escassa literatura em PBL apresenta projetos da vida real em um contexto tão crucial quanto a pandemia de COVID-19. A falta de comparações limita os resultados e define o caráter exploratório desta pesquisa e nossas considerações finais. Estudos futuros podem abordar com mais detalhes a caracterização de alunos e professores para estabelecer uma base para o nível de senioridade da equipe do projeto, bem como relacionar a complexidade do produto a ser desenvolvido. Essas variáveis podem ajudar a construir uma estrutura mais geral para quando e como usar o PBL em projetos da vida real, e quais resultados podem ser esperados para o aprendizado dos alunos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) pelo apoio financeiro a este projeto.

REFERENCES

- [1] E. W. Barasa, P. O. Ouma, and E. A. Okiro, "Assessing the hospital surge capacity of the Kenyan health system in the face of the COVID-19 pandemic," *PLOS ONE*, vol. 15, no. 7, jul 2020.
- [2] K. V. M. d. S. Noronha, G. R. Guedes, C. M. Turra, M. V. Andrade, L. Botega, D. Nogueira, J. A. Calazans, L. Carvalho, L. Servo, and M. F. Ferreira, "Pandemia por COVID-19 no Brasil: análise da demanda e da oferta de leitos hospitalares e equipamentos de ventilação assistida segundo diferentes cenários," *Cadernos de Saúde Pública*, vol. 36, no. 6, 2020.
- [3] A. Remuzzi and G. Remuzzi, "COVID-19 and Italy: what next?" *The Lancet*, vol. 395, no. 10231, apr 2020.
- [4] G. Grasselli, A. Pesenti, and M. Cecconi, "Critical Care Utilization for the COVID-19 Outbreak in Lombardy, Italy," *JAMA*, vol. 323, no. 16, apr 2020.
- [5] J. M. Rodriguez-Llanes, R. Castro Delgado, M. G. Pedersen, M. Meneghini, and P. Arcos González, "Surging critical care capacity for COVID-19: Key now and in the future," *Progress in Disaster Science*, vol. 8, dec 2020.
- [6] M. J. Cummings, M. R. Baldwin, D. Abrams, S. D. Jacobson, B. J. Meyer, E. M. Balough, J. G. Aaron, J. Claassen, L. E. Rabbani, J. Hastie, B. R. Hochman, J. Salazar-Schicchi, N. H. Yip, D. Brodie, and M. R. O'Donnell, "Epidemiology, clinical course, and outcomes of critically ill adults with COVID-19 in New York City: a prospective cohort study," *The Lancet*, vol. 395, no. 10239, jun 2020.
- [7] D. Wang, B. Hu, C. Hu, F. Zhu, X. Liu, J. Zhang, B. Wang, H. Xiang, Z. Cheng, Y. Xiong, Y. Zhao, Y. Li, X. Wang, and Z. Peng, "Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China," *JAMA*, vol. 323, no. 11, mar 2020.
- [8] C. M. Petrilli, S. A. Jones, J. Yang, H. Rajagopalan, L. O'Donnell, Y. Chernyak, K. A. Tobin, R. J. Cerfolio, F. Franco, and L. I. Horwitz, "Factors associated with hospital admission and critical illness among 5279 people with coronavirus disease 2019 in New York City: prospective cohort study," *BMJ*, may 2020.
- [9] S. Richardson, J. S. Hirsch, M. Narasimhan, J. M. Crawford, T. McGinn, K. W. Davidson, D. P. Barnaby, L. B. Becker, J. D. Chelico, S. L. Cohen, J. Cookingham, K. Coppa, M. A. Diefenbach, A. J. Dominello, J. Duer-Hefe, L. Falzon, J. Gitlin, N. Hajizadeh, T. G. Harvin, D. A. Hirschwerk, E. J. Kim, Z. M. Kozel, L. M. Marrast, J. N. Mogavero, G. A. Osorio, M. Qiu, and T. P. Zanos, "Presenting Characteristics, Comorbidities, and Outcomes Among 5700 Patients Hospitalized With COVID-19 in the New York City Area," *JAMA*, vol. 323, no. 20, may 2020.
- [10] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, "Product design and development fifth edition." Irwin/McGraw-Hill, 2012.
- [11] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, and K. Grote, *Engineering Design: A Systematic Approach*, 3rd ed. London: Springer-Verlag, 2007.
- [12] A. C. B. Reis, S. C. M. Barbalho, and A. C. D. Zanette, "A bibliometric and classification study of Project-based Learning in Engineering Education," *Production*, vol. 27, no. Special Issue, pp. 1–16, 2017.
- [13] S. C. M. Barbalho, A. C. B. Reis, J. A. Bitencourt, M. C. L. d. A. Leão, and G. L. da Silva, "A Project Based Learning approach for Production Planning and Control: Analysis of 45 projects developed by students," *Production*, vol. 27, no. Special Issue, pp. 1–16, 2017.
- [14] C. P. Talgar, L. A. Wankel, J. Lehmann, M. English, K. Seeley, J. Scheer, B. Hoger, K. Irmiter, S. A. Ambrose, and Y. V. Zastavker, "Student assessed integrated learning: SAILing to a holistic design of holistic engineering education," in *2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. IEEE, oct 2017.
- [15] J. L. Melsa, S. A. Rajala, and J. P. Mohsen, *Guest Editorial: Creating a Culture for Scholarly and Systematic Innovation in Engineering Education*, 2009, vol. 98, no. 3.
- [16] K. Campus and S. Penrith, "Engineering education - is problem-based or project-based learning the answer?" *Australasian Journal of Engineering Education*, vol. 3, pp. ISSN 1324–5821, 2003. [Online]. Available: http://www.aace.com.au/journal/2003/mills_treagust03.pdf
- [17] ABENGE, MEI, and CNI, "Inovação Na Educação Em Engenharia," *ABENGE Mobilização Empresarial pela Inovação*, p. 17, 2018. [Online]. Available: http://www.abenge.org.br/file/PropostaDCNABENGE_MEI_CNI.pdf
- [18] A. Jamison, A. Kolmos, and J. E. Holgaard, "Hybrid Learning: An integrative approach to engineering education," *Journal of Engineering Education*, vol. 103, no. 2, pp. 253–273, 2014.

- [19] A. Van den Beemt, M. MacLeod, J. Van der Veen, A. Van de Ven, S. van Baalen, R. Klaassen, and M. Boon, *Interdisciplinary engineering education: A review of vision, teaching, and support*. Wiley-Blackwell Publishing Ltd, jul 2020, vol. 109, no. 3.
- [20] C. S. V. Barbas, A. M. Ísola, A. M. d. C. Farias, A. B. Cavalcanti, A. M. C. Gama, A. C. M. Duarte, A. Vianna, A. Serpa Neto, B. d. A. Bravim, B. d. V. Pinheiro, B. F. Mazza, C. R. R. de Carvalho, C. Toufen Júnior, C. M. N. David, C. Taniguchi, D. D. d. S. Mazza, D. Dragosavac, D. O. Toledo, E. L. Costa, E. B. Caser, E. Silva, F. F. Amorim, F. Saddy, F. R. B. G. Galas, G. S. Silva, G. F. J. de Matos, J. C. Emmerich, J. L. d. S. Valiatti, J. M. M. Teles, J. A. Victorino, J. C. Ferreira, L. P. d. V. Prodomo, L. A. Hajjar, L. C. Martins, L. M. S. Malbouisson, M. A. d. O. Vargas, M. A. S. Reis, M. B. P. Amato, M. A. Holanda, M. Park, M. Jacomelli, M. Tavares, M. C. P. Damasceno, M. S. C. Assunção, M. P. C. D. Damasceno, N. C. M. Youssef, P. J. Z. Teixeira, P. Caruso, P. A. D. Duarte, O. Messeder, R. C. Eid, R. G. Rodrigues, R. F. de Jesus, R. A. Kairalla, S. Justino, S. N. Nemer, S. B. Romero, and V. M. Amado, "Brazilian recommendations of mechanical ventilation 2013. Part I," *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, vol. 26, no. 2, 2014.
- [21] I. de los Ríos, A. Cazorla, J. M. Díaz-Puente, and J. L. Yagüe, "Project-based learning in engineering higher education: two decades of teaching competences in real environments," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 2, no. 2, 2010.
- [22] A. Ridwan, Y. Rahmawati, A. Mardiah, and A. Rifai, "Developing 22nd century skills through the integration of STEAM into smoke absorber project," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1521, no. 4, 2020.
- [23] A. Stern, Y. Rosenthal, N. Dresler, and D. Ashkenazi, "Additive manufacturing: An education strategy for engineering students," *Additive Manufacturing*, vol. 27, no. April, pp. 503–514, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.001>
- [24] J. G. Sandland, A. Wankerl, A. Q. Termini, A. J. C. Capetillo, and D. S. Flores, "Collaborative learning for innovation education," *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, vol. 2020-April, pp. 630–637, 2020.
- [25] A. L. Aquere, D. Mesquita, R. M. Lima, S. B. S. Monteiro, and M. Zindel, "Coordination of Student Teams focused on Project Management Processes," *International Journal of Engineering Education*, pp. 1–1, apr 2012.
- [26] C. Crosthwaite, I. Cameron, P. Lant, and J. Litster, "Balancing Curriculum Processes and Content in a Project Centred Curriculum," *Education for Chemical Engineers*, vol. 1, no. 1, jan 2006.
- [27] V. Gomes, G. Barton, J. Petrie, J. Romagnoli, P. Holt, A. Abbas, B. Cohen, A. Harris, B. Haynes, T. Langrish, J. Orellana, H. See, M. Valix, and D. White, "Chemical Engineering Curriculum Renewal," *Education for Chemical Engineers*, vol. 1, no. 1, jan 2006.
- [28] K. A. Smith, S. D. Sheppard, D. W. Johnson, and R. T. Johnson, "Pedagogies of Engagement: Classroom-Based Practices," *Journal of Engineering Education*, vol. 94, no. 1, jan 2005.
- [29] M. A. Perales and F. J. Barrero, "Experiencia PBL en una Asignatura Básica de Electrónica," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 7, no. 4, pp. 223–230, 2012.
- [30] E. M. Bridges and P. Hallinger, *Problem-Based Learning for Administrators*, E. C. O. E. Management, Ed., sep 1992.
- [31] A. L. Aquere, D. Mesquita, R. M. Lima, S. B. Monteiro, and M. Zindel, "Coordination of student teams focused on project management processes," *International Journal of Engineering Education*, vol. 28, no. 4, pp. 859–870, 2012.
- [32] D. Boud, *Problem-based Learning in Education for the Professions*, H. Education and D. Society, Eds., jan 1985.
- [33] F. Rezende, "ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências Volume 02 / Número 1 – Março. 2002," *Revista Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*, vol. 02, no. 1, pp. 70–78, 2000.
- [34] K. Luz, S. Barbalho, and M. Farias, "Analysis of Learning Assessment Role Using Active Methodologies in KAA Perspective," *11th International Symposium on Project Approaches in Engineering Education (PAEE) and 16th Active Learning in Engineering Education, Tunisia Workshop (ALE)*, 2019.
- [35] M. M. Grant, "Getting a grip on project-based learning: Theory, cases and recommendations," *Meridian*, vol. 5, no. 1, 2002.
- [36] P. Freire, *Alfabetização. Leitura do Mundo, Leitura da Palavra*, B. Paz e Terra, Ed., oct 2016.
- [37] M. G. García, C. B. López, E. C. Molina, E. E. Casas, and Y. A. Morales, "Development and evaluation of the team work skill in university contexts. Are virtual environments effective?" *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 13, no. 1, dec 2016.
- [38] A. González-Marcos, F. Alba-Elías, F. Navaridas-Nalda, and J. Ordieres-Meré, "Student evaluation of a virtual experience for project management learning: An empirical study for learning improvement," *Computers and Education*, vol. 102, pp. 172–187, nov 2016.
- [39] L. J. Hirshfield and M. D. Koretsky, "Cultivating creative thinking in engineering student teams: Can a computer-mediated virtual laboratory help?" *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 37, no. 2, pp. 587–601, apr 2021.
- [40] N. Vukašinić and N. Pavković, "Use of virtual mobility to facilitate modern project-based NPD education," *International Journal of Engineering Education*, vol. 33, no. 6(B), pp. 2008–2019, 2017. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/322054762>
- [41] E. Sjølie, T. C. Espenes, and R. Buø, "Social interaction and agency in self-organizing student teams during their transition from face-to-face to online learning," *Computers and Education*, vol. 189, nov 2022.
- [42] D. G. de Paleville, "Active learning assignment: Legos and coins to explain glucose metabolism," *Advances in Physiology Education*, vol. 46, no. 1, pp. 200–205, 2022.
- [43] M. Saghafian and D. K. O'Neill, "A phenomenological study of teamwork in online and face-to-face student teams," *Higher Education*, vol. 75, no. 1, pp. 57–73, 2018. [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/26448992>
- [44] E. Stachura, "Designing from afar: the challenges, potentials and limitations of an on-line student design workshop," *World Transactions on Engineering and Technology Education (WTETE)*, vol. 19, no. 3, 2021.
- [45] S. R. Daly, E. A. Mosykowski, and C. M. Seifert, "Teaching creativity in engineering courses," *Journal of Engineering Education*, vol. 103, no. 3, pp. 417–449, 2014.
- [46] A. Leung, "Boundary crossing pedagogy in stem education," *International Journal of STEM Education*, 2020.
- [47] M. Conde, F. J. Rodríguez-Sedano, Á. Hernández-García, A. Gutiérrez-Fernández, and Á. M. Guerrero-Higuera, "Your teammate just sent you a new message! the effects of using telegram on individual acquisition of teamwork competence," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 6, no. 6, pp. 225–233, 2021.
- [48] J. A. Kumar, "Educational chatbots for project-based learning: investigating learning outcomes for a team-based design course," *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, no. 1, dec 2021.
- [49] V. Naik and A. Govindu, "Enriching and Energizing the Virtual Classroom using Breakout Sessions: A better experience of Active Learning during Covid-19 Pandemic," *Journal of Engineering Education Transformations*, vol. 35, pp. 129–134, 2022.
- [50] E. A. Suzumura, A. D. Zazula, H. T. Moriya, C. Q. A. Fais, A. L. Alvarado, A. B. Cavalcanti, and R. G. Rodrigues, "Challenges for the development of alternative low-cost ventilators during COVID-19 pandemic in Brazil," *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, vol. 32, no. 3, 2020.
- [51] M. J. Tobin, *Principles and Practice of Mechanical Ventilation*, 3rd ed. New York: The McGraw-Hill Companies, 2013.
- [52] J. Russel and A. Slutsky, "International Consensus Conferences in Intensive Care Medicine: Ventilator-associated Lung Injury in ARDS," *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 160, no. 6, pp. 2118–2124, dec 1999. [Online]. Available: <http://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1164/ajrccm.160.6.ats16060>
- [53] S. Pugh, *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*, 1st ed. London: Addison-Wesley, 1991.
- [54] S. C. Macêdo Barbalho, A. H. Duarte, and K. De Souza Luz, "Active learning in project management: The life cycle of a virtual scientific colloquium and its impact on students' performance," in *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*, vol. 11. University of Minho, 2021, pp. 398–406.
- [55] S. C. M. Barbalho, M. Monteiro de Carvalho, P. M. Tavares, C. H. Llanos, and G. A. Leite, "Exploring the relation among product complexity, team seniority, and project performance as a path for planning new product development projects: A predictive model applying the system dynamics theory," *IEEE Transactions on Engineering Management*, pp. 1–14, 2019.