

A MANUFATURA ADITIVA COMO SUPORTE À APRENDIZAGEM COLABORATIVA E INTERDISCIPLINAR EM AEC: UMA EXPERIÊNCIA INTEGRADORA COM O FUTURO PROFISSIONAL DE EXPRESSÃO GRÁFICA

ADDITIVE MANUFACTURING AS A SUPPORT OF COLLABORATIVE AND INTERDISCIPLINARY LEARNING IN AEC: AN INTEGRATIVE EXPERIENCE WITH THE FUTURE GRAPHIC EXPRESSION PROFESSIONAL

Márcio Henrique de Sousa Carboni¹, Sérgio Scheer¹

RESUMO:

O tema inovação tecnológica está presente em todos os campos da indústria e não é diferente na área da construção civil. Para que ocorra a efetiva adoção de novas tecnologias, necessita-se a reformulação dos currículos de graduação de Arquitetura e Engenharia Civil e a aproximação da formação com o mercado. A colaboração com outros profissionais capazes de se inserir nesse ecossistema pode auxiliar na adoção dessas tecnologias, como é o caso do profissional de Expressão Gráfica, formado pela UFPR. Este trabalho 1) pontua as últimas modificações das DCNs de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil com foco nas tecnologias digitais; 2) apresenta o recente curso de graduação em Expressão Gráfica, que possui latente complementariedade a AEC; e 3) apresenta uma iniciativa de integração desses cursos com a utilização da Manufatura Aditiva como ferramenta de estímulo à aprendizagem, colaboração entre alunos e facilitação do processo de ensino-aprendizagem. Através de uma pesquisa-ação e com abordagem de aprendizado baseado em projetos (PBL – *Project-based learning*), nessa experiência propôs-se o desenvolvimento, em equipes multidisciplinares, de modelos físicos didáticos para o ensino de Sistemas Estruturais. Percebeu-se a eficácia dos modelos para explicação de conceitos teóricos abstratos e que sua criação gera possibilidades de discussões que reforçam o aprendizado significativo. O aluno de Expressão Gráfica se mostrou apto a colaborar no ambiente de AEC, auxiliando durante o processo criativo com a expertise sobre a manufatura aditiva, que se apresentou como uma ferramenta importante que permite otimizar tanto o processo de projeto, quanto o de ensino.

PALAVRAS-CHAVE: Impressão 3D; Ensino interdisciplinar; Aprendizagem significativa; Tecnologias digitais.

ABSTRACT:

The theme technological innovation is present in all fields of industry, and it is no different in civil construction. For the effective adoption of new technologies, it is necessary to reformulate the undergraduate curricula of Architecture and Civil Engineering and bring their training closer to the market. The collaboration with other professionals capable of inserting themselves in this ecosystem can help in the adoption of these technologies, as is the case of the professional of Graphic Expression, graduated by UFPR. This paper 1) points out the latest modifications of the Brazilian National Curricular Guidelines of Architecture and Urbanism and Civil Engineering with a focus on digital technologies; 2) presents the recent undergraduate course in Graphic Expression, which has a latent complementarity to AEC; and 3) presents an initiative to integrate these courses with the use of Additive Manufacturing as a tool to stimulate learning, collaboration among students and to facilitate the teaching-learning process. Through an action-research and project-based learning approach, this experience proposed the development, in multidisciplinary teams, of didactic physical models for the teaching of Structural Systems. It was noticed the effectiveness of the models for explaining abstract theoretical concepts, and that their creation generates possibilities of discussions that reinforce significant learning. The student of Graphic Expression showed himself able to collaborate in the AEC environment, helping during the creative process with the expertise on additive manufacturing, which presented itself as an important tool that allows the optimization of both the design process and the teaching process.

KEYWORDS: 3D printing; Interdisciplinary education; Significant learning; Digital technologies.

How to cite this article:

CARBONI, M. H. S.; SCHEER, S. A manufatura aditiva como suporte à aprendizagem colaborativa e interdisciplinar em AEC: uma experiência integradora com o futuro profissional de expressão gráfica. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v18, n1, 2023. <https://doi.org/10.11606/gtp.v18i1.201918>

¹Universidade Federal do Paraná

Fonte de Financiamento:
Não há.

Conflito de Interesse:
Não há.

Ética em Pesquisa:
Pesquisa foi aprovada pelo CEP da Universidade Federal do Paraná em 30 de junho de 2021, CAAE número 46994121.0.0000.0102.

Submetido em: 05/09/2022
Aceito em: 15/03/2023



INTRODUÇÃO

O tema inovação tecnológica está presente em todos os campos da indústria. Ainda que na construção civil, especialmente brasileira, se note atrasos na adoção de tecnologias e baixo nível de competitividade frente ao mercado internacional (OLIVEIRA e FABRICIO, 2011; WU et al., 2018; OLIVEIRA, 2019; KERN et al., 2019), é inegável as tentativas de evolução na indústria da AEC (arquitetura, engenharia e construção), como exemplo de temas recorrentes: o BIM, *Lean Construction*, construção modular e fabricação digital.

Dentre as novas tecnologias que se apresentam para a Indústria 4.0, destaca-se a Manufatura Aditiva (*AM – Additive Manufacturing*), que consiste no processo de fabricação de modelos, a partir de dados de um modelo virtual CAD, através da deposição de camadas que vão sendo fabricadas sucessivamente até que se obtenha a geometria completa da peça (MONTEIRO, 2015; GO e HART, 2016; HAAVI et al., 2018; STERN et al., 2019). Tal tecnologia pode ser inserida de maneira parcial ou integral no processo de projeto-construção da arquitetura, uma vez que pode atuar nas mais diferentes etapas, desde a concepção formal arquitetônica, até na construção de moldes para elementos construtivos, ou até mesmo na confecção de elementos prontos para serem inseridos na obra. Porém, no Brasil, o uso da AM como técnica construtiva é insipiente, dada a pequena industrialização do país na área da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). É por isso que tais tecnologias são abordadas nos centros de ensino superior, para que haja a experimentação e formação de profissionais aptos a trabalharem com elas (MARTINS e PEREIRA FILHO, 2019).

No processo ensino-aprendizagem, já se percebeu o suporte e os benefícios que a utilização da impressão 3D podem proporcionar às mais diferentes áreas, como artes, matemática, engenharia, design, arqueologia e patrimônio histórico, astronomia, arquitetura e urbanismo, medicina e anatomia, entre outros (KOLITSKY, 2014; VACCAREZZA e PAPA, 2015; FUKUDA et al., 2016; CHIU et al., 2016; HULEIHIL, 2017; LUDWIG et al., 2017).

Modelos físicos podem auxiliar discentes na compreensão espacial de fenômenos variados e, conseqüentemente, aumentar o seu envolvimento em aulas. Eles permitem uma linguagem adequada ao aprendizado, capaz de facilitar e racionalizar o pensamento do aprendiz, de forma a substituir uma visão ingênua da realidade por uma postura mais crítica e abrangente (BASSANEZI, 2015). No caso de áreas que envolvem projeto e criação, eles facilitam o entendimento do processo de concepção, permitem que o discente transfira suas ideias para a realidade e que aprenda sobre as fraquezas e virtudes de seus projetos, vivenciando o ciclo interativo do processo de design (HULEIHIL, 2017; NOVAK e WISDOM, 2018).

No atual contexto de rápidas mudanças e evoluções tecnológicas, o papel dos diferentes profissionais envolvidos na indústria da construção civil está sendo modificado. Novos nichos de atuação vêm surgindo especificamente para emprego das novas tecnologias, uma vez que a maneira de se projetar e chegar ao produto final é alterada (PUPO, 2008; MARTINS e PEREIRA FILHO, 2019). E ao mesmo tempo que as tecnologias AM se apresentam com rápido crescimento e potencial disruptivo, elas exigem programas educacionais que forneçam os seus princípios fundamentais e igualmente permitam aos designers, arquitetos e engenheiros descobrir suas capacidades (GO e HART, 2016).

Dentro deste contexto, destacam-se dois movimentos ocorridos. O primeiro, foi o de discussões a respeito dos currículos de Engenharia Civil (EC) e Arquitetura e Urbanismo (AU) das universidades brasileiras, que culminou na reformulação das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) de Engenharia em 2019 e na elaboração da proposta de alteração das de Arquitetura e Urbanismo (ainda não aprovadas pelo Ministério da Educação). Em ambas propostas, há destaque sobre a inclusão das tecnologias digitais na formação desses profissionais, além de programas curriculares mais próximos do mercado e centrados nos alunos, entretanto, não é

apresentado um claro direcionamento de como se inserir tais questões nos currículos acadêmicos.

O segundo, foi a criação em 2012 do Curso Bacharelado em Expressão Gráfica (CEGRAF), na Universidade Federal do Paraná (UFPR), justamente a partir da percepção da necessidade de profissionais generalistas aprofundados nas novas tecnologias digitais e com potencial de inclusão no ecossistema da AEC. Como hipótese, acredita-se que este curso e seus futuros profissionais podem colaborar para que ocorra uma efetiva inclusão das tecnologias digitais nos cursos de AU e EC, através do ensino interdisciplinar, colaborativo e ativo.

Pensando em contribuir com novas abordagens de ensino-aprendizagem para cursos da área de AEC este trabalho tem três objetivos: 1) pontuar as recentes alterações das DCNs dos cursos de Arquitetura e Engenharia Civil que possuem foco na implementação das tecnologias digitais e metodologias ativas de ensino; 2) apresentar a complementaridade latente que existe no recente Curso de Expressão Gráfica da UFPR, no que tange a adoção de tecnologias digitais para a AEC; e 3) apresentar uma experiência de integração dos cursos de Arquitetura e Expressão Gráfica durante a graduação com foco no desenvolvimento integrado de projetos utilizando a Fabricação Digital (mais especificamente a Manufatura Aditiva) como ferramenta de estímulo à aprendizagem, colaboração entre alunos, e facilitação do processo de ensino-aprendizagem.

DCNS DE ENGENHARIA E ARQUITETURA E URBANISMO

Com as constatações de uma formação de engenheiros pouco focada no ambiente de trabalho e desvinculada com as expectativas de uma indústria posicionada dentro da 4ª Revolução Industrial, a Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), movimento de grandes empresas no Brasil coordenado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) criado em 2008, em sintonia com a agenda de tendências internacionais, adotou a bandeira da luta pela melhoria do ensino de engenharia nas escolas.

Segundo Kern et al. (2019), em 2009 é lançado um manifesto intitulado “Inovação: A construção do futuro” que traz os pilares do movimento que apontam a importância da mobilização do sistema empresarial/industrial articulado com o governo. Dentro dos objetivos elencados a educação recebeu atenção especial, e o aprimoramento do modelo educacional, para criar uma cultura inovadora e empreendedora, foi apontado como fundamental, uma vez que é percebida uma baixa qualidade de ensino ofertado e um perfil inadequado dos egressos.

Do trabalho da MEI em conjunto com a ABENGE (Associação Brasileira de Educação em Engenharia), em 2019 é aprovada a reformulação das DCNs de Engenharia (BRASIL, 2019b) que haviam entrado em vigor em 2002, após aprovada a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional em 1996. As novas DCNs propõem uma nova organização institucional do currículo estimulado a diversidade das formas de aprendizado, extrapolação da sala de aula tradicional, interação do ensino com a pesquisa e a extensão como formas de aprendizado, e a busca por metodologias ativas de ensino (OLIVEIRA, 2019). Além disso, as novas DCNs consideram e priorizam um novo processo de capacitação e qualificação do docente, dando importância a experiência profissional não acadêmica a fim de favorecer a interação com os ambientes profissionais.

As diversas flexibilidades propostas reorganizam as atividades acadêmicas e estimulam as instituições a inovarem seus cursos a partir de atividades práticas, da interação entre estudantes, de estímulos de atividades de leitura, pesquisa, extensão e produção intelectual por meio de monografias e artigos, e especialmente por um novo ordenamento do aprendizado na relação discente com os docentes (OLIVEIRA, 2019, p.5).

As atuais DCNs para Engenharia buscam criar um ambiente nos cursos de graduação que permita os estudantes saírem mais preparados para empreender dentro ou fora das empresas e com maior potencial de desenvolverem seus talentos, competências e habilidades (KERN et al., 2019). Para isso, algumas estratégias sugeridas são: criar currículos flexíveis e centrados no aluno; dar ênfase no desenvolvimento de competências esperadas dos egressos; incentivar à adoção de metodologias ativas de aprendizagem (conhecimento aplicado); proporcionar a colaboração entre universidade-empresa (aproximação dos cursos com o mercado); desenvolver programas multidisciplinares; e combinar atividades em sala de aula e a distância (BRASIL, 2019b).

As novas DCNs podem induzir um movimento de modernização dos currículos de Engenharia, com maior incentivo ao desenvolvimento da cultura *maker* nas universidades, da oferta de cursos mais atrativos aos alunos e alinhados às necessidades da sociedade e do mercado, contribuindo, conseqüentemente, para a redução das taxas de evasão (KERN et al., 2019, p.41).

O caminho trilhado na área de Arquitetura e Urbanismo foi semelhante. A Resolução CNE/CES nº6/2006 (BRASIL, 2006) estabeleceu as Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e foram alteradas pela Resolução CNE/CES nº2/2010 (BRASIL, 2010). Em 2013, novamente iniciaram discussões sobre a reformulação dessas DCNs em reuniões organizadas pela Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo (ABEA) e, posteriormente, após 2018, nas Comissões de Ensino e Formação do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR). Em 2019, foi elaborada uma nova proposta de DCNs do curso de graduação em AU, a partir das discussões realizadas em dois eventos científicos ocorridos na cidade do Rio de Janeiro: XXXVII Encontro Nacional sobre o Ensino de Arquitetura e Urbanismo e o XX Congresso Nacional da Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo (ABEA, 2019). Entretanto, ainda não vigoram no país.

Assim como nas novas DCNs dos cursos de Engenharia, algumas das principais alterações propostas no CONABEA para as DCNs de Arquitetura e Urbanismo buscam chamar a atenção para:

- O uso de metodologias ativas de ensino, com participação ativa do aluno no processo de construção do conhecimento (art. 30º, inciso I);
- Diversificação dos ambientes de ensino e aprendizagem, para que os alunos tenham a experiência profissional do mercado de trabalho e práticas interprofissionais colaborativas (art. 30º, inciso V);
- E a possibilidade de flexibilização curricular, que permita explorar a busca por inovação inerente a área da AEC (art. 30º, inciso VI), (ABEA, 2019).

Além disso, é citado como importante o incentivo à formação continuada dos alunos e também dos docentes, para que sempre estejam atualizados para atendimento de novas demandas e novas possibilidades do campo profissional da Arquitetura.

Cabe salientar que entende-se o conceito de Indústria 4.0 como a atual abordagem de mudanças nos processos de produção e de modelos de negócios que emprega alto grau de tecnologia na cadeia produtiva em busca de aumento de produtividade e competitividade, e gera novos valores e serviços para clientes e organizações (SANTOS et al., 2018). Para tanto tecnologias como internet das coisas (IoT), inteligência artificial, fabricação digital, manufatura aditiva, *big data*, computação em nuvem, entre outras, são fundamentais.

Na proposta do CONABEA, pela primeira vez cita-se como conteúdo curricular obrigatório os “Processos e Ferramentas de Modelagem Digital e Física” e a obrigatoriedade de ao menos um

laboratório de modelagem e fabricação digital nos cursos de graduação, mostrando a importância percebida das novas tecnologias difundidas como conceitos fundamentais para a Indústria 4.0 e para a atividade de Arquitetura e Urbanismo. Isso se reflete nas competências e habilidades que se pretende desenvolver nos egressos dos Cursos de AU. Pela primeira vez destaca-se a experimentação e fabricação aplicada à arquitetura:

Art. 11º. O curso deverá estabelecer ações pedagógicas visando ao desenvolvimento de conhecimentos, habilidades, competências e atitudes com responsabilidade técnica, artística e social que compreendam, pelo menos:...

V. o domínio dos instrumentais de informática para tratamento e modelagem da informação e paramétrica para a concepção, a expressão, a representação, a experimentação e a fabricação aplicadas à arquitetura, ao urbanismo e à arquitetura da paisagem (ABEA, 2019. p. 21).

Destaca-se desta forma, que assim como visto para a Engenharia, a formação em Arquitetura e Urbanismo também deve se reformular com foco no ensino mais aproximado da prática profissional, na colaboração, em metodologias ativas de ensino, e na formação tecnológica.

Com base nessas informações, destaca-se a necessidade da incorporação das tecnologias digitais na capacitação dos alunos de Arquitetura e Engenharia, para que possam no futuro avançarem na incorporação de tecnologia no setor da AEC. Entretanto, acredita-se que o objetivo para esses profissionais seja o entendimento das potencialidades e princípios dessas tecnologias para tirarem proveito, mas não desviar o foco das atividades e atribuições específicas de suas profissões.

Dessa forma, este trabalho busca colaborar com a discussão apresentando o grande potencial de um novo profissional capaz de se inserir em grupos multidisciplinares da AEC e auxiliar, arquitetos e engenheiros, na adoção dessas tecnologias, além de apresentar possibilidades de como compreender essas tecnologias digitais durante o processo de formação acadêmica mais próximo da prática profissional.

O PROFISSIONAL DE EXPRESSÃO GRÁFICA

Em 2012, foi criado na Universidade Federal do Paraná o Curso de Bacharelado em Expressão Gráfica (CEGRAF). A motivação para sua criação veio por meio da identificação, dentro da indústria de desenvolvimento de projetos, da falta de comunicação e entendimento entre os profissionais envolvidos no processo. A carência de conhecimentos técnicos e de troca de informação entre os diferentes profissionais causava atrasos e conseqüentemente prejuízos financeiros aos projetos (DEGRAF, 2017).

Não há DCN específica para a Expressão Gráfica. Ainda que existam outros cursos com o mesmo nome, o CEGRAF atualmente é único no país por se tratar de um bacharelado, enquanto os demais são licenciaturas. Seu objetivo é “formar profissionais que trabalhem no desenvolvimento de projetos gráficos digitais e que atuem no intervalo de funções existentes entre a criação e a produção e participem de equipes multidisciplinares” (SOUZA e COSTA, 2013, p.3), nas áreas de arquitetura, engenharia e produtos industriais, baseando-se nos conceitos de projeto digital e na prototipagem. Uma formação abrangente é um requisito para esse profissional, a fim dele poder compreender elementos de várias áreas e poder se comunicar com diferentes profissionais, colaborando em processos de desenvolvimento de projetos.

A manufatura aditiva como suporte à aprendizagem colaborativa e interdisciplinar em AEC: uma experiência integradora com o futuro profissional de expressão gráfica

Após a formatura das primeiras turmas do curso, em 2017 iniciou-se um processo de revisão do currículo ao se detectar a necessidade de mudanças e adaptações do perfil profissional do egresso. Foi percebido que os alunos foram bem recebidos pelo mercado em estágios na área de modelagem e maquetes digitais, compatibilização de projetos através de tecnologias digitais e produção de produtos através de processos de fabricação digital. Adicionalmente, a evolução das tendências de mercado de trabalho com novas tecnologias reforçaram a necessidade de inclusão de novos conteúdos na grade curricular alinhados com os princípios de Economia Criativa e Movimento *Maker* (DEGRAF, 2018).

Em 2018, com Classificação Internacional Normalizada da Educação (CINE) realizada pelo Ministério da Educação (MEC), houve a aproximação do CEGRAF ao rótulo de Design. Nesse sentido, houve a necessidade de adaptar a proposta curricular às DCNs para Cursos de Design. Entretanto, para não se perder as características únicas já observadas desde o início do bacharelado, se estabeleceu o foco da formação do profissional egresso do curso de Expressão Gráfica nas áreas de: projeto de produto e de mobiliário, modelagem e fabricação digital, representação digital em interface de projetos nas áreas de Arquitetura e Engenharia.

As disciplinas do curso são divididas em cinco áreas (**Figura 1**). A área Básica concentra disciplinas sobre desenho geométrico, técnico e geometria descritiva. A área de Linguagem Gráfica abrange conceitos de representação gráfica, composição, e conceitos principais de modelagem digital e animação. A área de Fundamentos de Projeto introduz conceitos das áreas de arquitetura, design, história da arte, e processos de fabricação. A área de Arquitetura possui disciplinas sobre desenho arquitetônico, BIM, prototipagem, ambiente construído e projeto de mobiliário. E, finalmente, a área de Projeto de Produto exercita o desenvolvimento de produtos utilizando modelagem mecânica, modelagem 3D para design e fabricação digital.

Figura 1 – Matriz curricular do curso de Expressão Gráfica da UFRP.

Fonte: DEGRAF, 2018

1º PERÍODO CH 300 - CHS 20	2º PERÍODO CH 330 - CHS 22	3º PERÍODO CH 330 - CHS 22	4º PERÍODO CH 330 - CHS 22	5º PERÍODO CH 270 - CHS 18	6º PERÍODO CH 315 - CHS 21	7º PERÍODO CH 315 - CHS 21	8º PERÍODO CH 165 - CHS 11
CEG302 DESENHO GEOMÉTRICO I CH 60 - CHS 4	CEG304 MATEMÁTICA APLICADA À EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4	CEG305 FUNDAMENTOS DA PROGRAMAÇÃO APLICADOS À CH 60 - CHS 4	CEG314 MODELAGEM DIGITAL E ANIMAÇÃO II CH 45 - CHS 3	CEG315 MODELAGEM DIGITAL E ANIMAÇÃO III CH 45 - CHS 3	CEG312 TRATAMENTO E EDIÇÃO DE IMAGENS CH 45 - CHS 3	CEG336 TCC I CH 60 - CHS 4	CEG337 TCC II CH 120 - CHS 8
CEG303 GEOMETRIA DESCRITIVA I CH 60 - CHS 4	CEG306 DESENHO TÉCNICO E CAD CH 60 - CHS 4	CEG311 FUNDAMENTOS DA COMUNICAÇÃO VISUAL CH 45 - CHS 3	CEG319 ERGONOMIA CH 60 - CHS 4	CEG324 PROTOTIPAGEM II CH 60 - CHS 4	CEG327 PROJETO DE MÓVEIS II CH 45 - CHS 3	OPTATIVA I	OPTATIVA III
CEG301 INTRO. À EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4	CEG308 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA II CH 60 - CHS 4	CEG313 MODELAGEM DIGITAL E ANIMAÇÃO I CH 45 - CHS 3	CEG321 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO CH 60 - CHS 4	CEG326 PROJETO DE MÓVEIS I CH 45 - CHS 3	CEG323 AMBIENTE CONSTRUIDO CH 60 - CHS 4	OPTATIVA II	
CEG307 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA I CH 60 - CHS 4	CEG310 COMPOSIÇÃO II CH 45 - CHS 3	CEG320 TECNOLOGIA DOS MATERIAIS CH 60 - CHS 4	CEG325 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CH 60 - CHS 4	CEG330 PROJETO DE PRODUTO I CH 60 - CHS 4	CEG331 PROJETO DE PRODUTO II CH 60 - CHS 4		
CEG309 COMPOSIÇÃO I CH 60 - CHS 4	CEG316 HISTÓRIA DAS ARTES VISUAIS CH 60 - CHS 4	CEG318 INTRODUÇÃO AO DESIGN CH 60 - CHS 4	CEG328 MODELAGEM MECÂNICA I CH 45 - CHS 3	CEG333 MODELAGEM 3D EM DESIGN CH 60 - CHS 4	CEG334 FABRICAÇÃO DIGITAL CH 45 - CHS 3		
	CEG317 INTRODUÇÃO À ARQUITETURA CH 45 - CHS 3	CEG322 DESENHO ARQUITETÔNICO I CH 60 - CHS 4	CEG332 PROTOTIPAGEM I CH 60 - CHS 4		CEG335 SEMINÁRIO DE EXPRESSÃO GRÁFICA CH 60 - CHS 4		
BÁSICA	LINGUAGEM GRÁFICA	FUNDAMENTOS DE PROJETOS	ARQUITETURA	PROJETO DE PRODUTO	TCC		

CH DISCIPLINAS OBRIGATÓRIAS: 2055H
 CH DISCIPLINAS OPTATIVAS: 135H
 ATIVIDADES FORMATIVAS: 240H
 CH TOTAL: 2430H

Com o conhecimento em tecnologias digitais (como modelagem digital, BIM, captura e digitalização tridimensional, fabricação e prototipagem digital, realidade virtual e aumentada,

entre outras), e embasamento teórico em conceitos de geometria plana e espacial, arquitetura, design e engenharia, esse novo profissional se apresenta ao mercado com potencial para se inserir em projetos colaborativos com outros profissionais das áreas de Arquitetura, Engenharia, Artes e Design.

Com base nessas observações, acredita-se que o curso de Expressão Gráfica exercita satisfatoriamente em seus alunos competências relacionadas as tecnologias de modelagem e prototipagem digital. Incluir esses alunos no ecossistema e no processo de capacitação dos profissionais da AEC pode permitir o ensino colaborativo entre os pares (alunos) e complementar a formação dos alunos de Arquitetura e Engenharia.

Isto pois os cursos de AU e EC ainda possuem dificuldades de integrar as tecnologias digitais em seus currículos, carecendo de infraestrutura, capacitação dos docentes, e reformulação de seus currículos, enquanto o curso de EG já se apresenta mais bem preparado para tanto.

EXPERIÊNCIA EDUCACIONAL COLABORATIVA

MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho faz parte da tese de doutorado em desenvolvimento intitulada “Manufatura aditiva na integração de estudantes de AEC durante a graduação” que tem o objetivo de apresentar um método de integração entre os cursos de Arquitetura, Engenharia Civil e Expressão Gráfica, utilizando a Manufatura Aditiva como ferramenta pedagógica para colaboração entre estudantes e, conseqüentemente, de apoio ao processo de ensino-aprendizagem dessa área.

Tal pesquisa utiliza uma abordagem de *Design Science Research* (DSR) para a construção deste método (artefato). Seguindo as etapas de desenvolvimento de uma DSR¹ sugeridas por Lacerda et al. (2013), a experiência apresentada neste artigo é resultado da etapa de “sugestão” que precede a elaboração efetiva do artefato, que, por sua vez, foi realizada por meio de outro método de pesquisa que apoia a abordagem principal DSR: a Pesquisa-ação.

A Pesquisa-ação possui base empírica, na qual pressupõem uma associação com uma ação para resolução ou explicação de um problema, em um determinado contexto, em que participantes e pesquisadores estão envolvidos (THIOLENT, 1985 *apud* GIL, 2002; DRESCH *et al.*, 2015). Assim como o estudo de caso, esse tipo de pesquisa tem um cunho exploratório, descritivo e explicativo, porém, na pesquisa-ação o pesquisador deixa de ser apenas um observador para ter uma participação ativa na investigação (DRESCH *et al.*, 2015). Como um dos autores deste trabalho foi um dos professores ministrantes, atuou-se como agente participativo nas observações e análise do processo.

Além disso, o projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Paraná em 30 de junho de 2021 e recebeu o CAAE número 46994121.0.0000.0102.

PLANEJAMENTO DA DISCIPLINA

Fernandes e Simoes (2016) afirmam haver, majoritariamente, dois tipos de método de ensino. O direto, centrado no professor e baseando-se principalmente na exposição de conteúdo didático, e o indireto, que é centrado no aluno, no qual ele adquire habilidades e conhecimento construindo seu próprio aprendizado pelo desenvolvimento ativo de competências. Pelas

¹ Cinco etapas principais de uma DSR: Conscientização, sugestão, desenvolvimento do artefato, avaliação e conclusão.

observações realizadas das novas DCNs de AU e EC, pode-se afirmar que a nova geração de profissionais necessita cada vez mais de uma formação indireta, na qual construam seu conhecimento e desenvolvam o pensamento crítico e habilidades como a de resolução de problemas.

As bases metodológicas desta experiência educacional se assentam no “Construtivismo” que preconiza que o conhecimento se constrói pela interação do indivíduo com o meio físico e social, e que considera o aprendizado como um processo ativo no qual os alunos aprendem fazendo (*learning by doing*), constroem novas ideias baseadas em seus conhecimentos prévios, criam hipóteses e tomam decisões (BECKER, 1993; CORBACHO et al., 2021).

Metodologias de ensino ativas são adequadas para esse tipo de formação. A abordagem PBL (*project-based learning*), também conhecida em português como “aprendizagem centrada em projetos”, é uma estratégia educacional focada no aluno que envolve atividades de ensino-aprendizagem interdisciplinares, a partir de um ambiente de aprendizado ativo e colaborativo, no qual estudantes são tutorados por professores qualificados e ganham conhecimento profundo através de respostas a questões do mundo real, problemas e desafios. Dessa maneira os discentes se tornam gerentes do seu processo de aprendizagem. A PBL encoraja o desenvolvimento da habilidade de comunicação, coleta de dados, sintetização de informação e gerenciamento de tempo, preparando os discentes para suas futuras carreiras (STERN et al., 2019). Através de sua prática, a sala de aula torna-se um espaço aberto para receber ideias, saberes, linguagens e realidades, estimulando conversações e gerando vínculos. A abordagem de problemas permite aos alunos um crescimento individual e coletivo em sua experiência de aprendizagem, através da construção de significados que geram reflexões e dão sentido às suas experiências (CARBONELL, 2016).

Isto somado a busca de aproximação da formação em AEC com a prática profissional e colaboração entre alunos com expertises complementares, resultou em uma experiência educacional realizada com alunos dos cursos de Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo (AU) e Bacharelado em Expressão Gráfica (EG), ambos da Universidade Federal do Paraná. Ainda que nessa oportunidade não se teve a possibilidade de incluir alunos de Engenharia Civil, cabe salientar que o método utilizado foi concebido de forma que também pudessem participar em novas rodadas que serão realizadas.

Através de uma abordagem PBL, realizou-se uma disciplina optativa semestral de 15 semanas, na qual abordou-se conteúdos de estruturas arquitetônicas e manufatura aditiva, com o intuito de desenvolvimento de modelos didáticos estruturais. Além da integração de alunos não acostumados a trabalharem juntos, tal experiência trata-se de uma possibilidade de como incorporar os conceitos de AM no currículo dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil, e de como integrar alunos de outros cursos, como de Expressão Gráfica e possivelmente de Design, no ensino de AEC.

O Curso de Arquitetura e Urbanismo (CAU) da UFPR pode ser considerado como tradicional e consolidado, tendo passado quase 60 anos de sua criação. Os discentes são acostumados a trabalhar em disciplinas práticas e de atelier, explorando conceitos da arquitetura, design e engenharia. Entretanto, tratando-se de tecnologias de fabricação digital o curso carece de infraestrutura. Possui apenas uma máquina de corte a laser e recentemente foi adquirida uma impressora 3D ainda pouco utilizada. Já o Curso de Expressão Gráfica, apesar de recente, possui boa infraestrutura tecnológica e disponibiliza em seu laboratório de modelagem e prototipagem mais de dez impressoras 3D que são altamente requisitadas.

Pode-se afirmar que é possível integrar nos currículos o ensino sobre manufatura aditiva e o desenvolvimento de habilidades em impressão 3D de duas formas: ativa e passiva (FORD e MINSHALL, 2019). A integração ativa envolve a criação de cursos e projetos que tem o foco explícito em ensinar manufatura aditiva. Já a integração passiva envolve o uso da AM como

ferramenta de apoio para o ensino de outros conteúdos. Nesta abordagem utilizou-se o ensino de AM de forma passiva para os alunos de AU, enquanto para os alunos de EG, a maneira abordada foi a ativa. Acredita-se fazer sentido utilizar esse tipo de abordagem para a Arquitetura e Engenharia Civil, uma vez que o objetivo principal da capacitação desses profissionais não é a operação de equipamentos de fabricação digital, e sim capacitar profissionais que entendam a tecnologia, saibam como tirar proveito dela para solucionar problemas e estejam aptos a trabalharem em equipes multidisciplinares. A formação sobre este assunto é mais aprofundada para o segundo grupo (EG), uma vez que eles devem estar aptos a colaborar em grupos multidisciplinares justamente dando suporte na utilização de tais tecnologias.

Essa pesquisa não visa encerrar a discussão de como implantar essa tecnologia nos cursos de AEC, mas sim, busca apresentar possibilidades de como fazê-lo. Nesta experiência criou-se uma disciplina em comum que explorou o aprendizado interdisciplinar utilizando a abordagem pedagógica PBL. Para isso, fez-se necessário, inicialmente, identificar um “objeto em comum” que pudesse ser explorado pelos diferentes cursos, como Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Expressão Gráfica, para que utilizando a Manufatura Aditiva como ferramenta educacional e fator de integração e estímulo, os alunos desenvolvam suas habilidades de comunicação, colaboração, resolução de problemas, alfabetização tecnológica e autonomia, além do conhecimento técnico necessário para suas profissões.

Dentre os vários temas possíveis de se utilizar (a citar entre um vasto universo: BIM, geometria e construção modular), conclui-se que “Sistemas Estruturais” seria um tema mais comum aos cursos e viável, principalmente pelo fato de não haver pré-requisitos para a participação dos alunos.

Segundo Nóbrega e Nóbrega (2020), a importância e necessidade do ensino da teoria do tema nos cursos de Engenharia Civil é pacífico, porém o foco é bastante tecnicista fixando-se em atividades de cálculo e análise de dimensionamento estrutural. Os alunos de engenharia acabam tendo dificuldades na etapa anterior, que seria de concepção estrutural e estabelecimento do arranjo estrutural e que requer habilidades intuitivas e criativas.

Por outro lado, os autores afirmam que “o ensino de estruturas parece continuar deficiente nos cursos de Arquitetura” (NÓBREGA e NÓBREGA, 2020. p. 184), ainda que seja tema de recorrentes pesquisas, publicações, e inclusive eventos específicos para tal, como é o caso do ENEEEA – Encontro Nacional de Ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura.

De toda forma, é inegável que a concepção estrutural é etapa fundamental da concepção arquitetônica. Sem a estrutura “a forma não pode ser preservada e assim o organismo funcional arquitetural ficará comprometido, ou sequer existirá” (NÓBREGA e NÓBREGA, 2020. p. 184). Por isso, o aluno de Arquitetura necessita de domínio sobre o uso e funcionamento dos sistemas estruturais.

Ainda que tal tema não seja tópico específico abordado no Curso de Expressão Gráfica, ele permite diversas abordagens que envolvam conhecimentos relativos à essa área do conhecimento, tanto do ponto de vista de representação, como do ponto de vista técnico respectivo à cálculo.

Nóbrega e Nóbrega (2020. p.189) ainda reforçam que “o modelo físico experimental é o recurso mais debatido e recomendado em seminários, encontros, palestras e trabalhos publicados sobre o ensino das disciplinas da área de estruturas”. Eles permitem a visualização real dos fenômenos, demonstrando conceitos de forma intuitiva, fidedigna e palpável. Isso nos dá mais confiança de que unir tais conceitos com a manufatura aditiva seja uma estratégia adequada para a colaboração entre os diferentes cursos já expostos.

OBJETIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISCIPLINA

Para a realização dessa experiência, foram unidas duas disciplinas optativas específicas de cada curso em uma disciplina em comum na prática. Aos alunos de Expressão Gráfica, foi oferecida a CEG247 – Tópicos Especiais em Prototipagem I, uma disciplina de 60 horas semestrais com objetivo de desenvolver a capacidade de planejamento de projeto do profissional e sua habilidade em trabalhar de maneira colaborativa, além de focar em noções básicas de utilização dos equipamentos de prototipagem rápida. Aos de Arquitetura e Urbanismo, foi oferecida a chamada TA159 - Tópicos Especiais em Tecnologia I: Modelos Estruturais, uma disciplina de 30 horas semestrais com o objetivo geral de possibilitar ao discente o estudo de diferentes tipologias de estruturas através do desenvolvimento de modelos estruturais físicos, visando a compreensão do seu comportamento estrutural e da relação entre a concepção estrutural, a concepção arquitetônica e a dimensão construtiva propriamente dita.

Para a disciplina CEG247, não era exigido pré-requisito aos alunos de EG. Ao total, 11 alunos cursaram-na integralmente, sendo que 10 eram alunos do último ano do curso. Dessa forma, pressupôs-se que a maioria já tinha conhecimentos sobre modelagem 3D virtual, base para qualquer desenvolvimento com impressão 3D. Para a disciplina TA159, também não foi exigido pré-requisito aos alunos de Arquitetura e Urbanismo, mas coincidentemente todos os inscritos já haviam cursado as disciplinas básicas de Sistemas Estruturais. Ao total, 6 alunos cursaram integralmente a disciplina.

A disciplina prática em comum entre os dois cursos foi proposta com seguintes objetivos gerais:

- Apresentar aos discentes fundamentos, potencialidades e limitações de técnicas da AM.
- Capacitar os discentes a utilizar impressoras 3D como ferramentas para validação de propostas de projetos.
- Promover trabalho colaborativo e interdisciplinar entre discentes dos dois cursos, visando o uso complementar de seus conhecimentos, para o desenvolvimento de modelos didáticos úteis para a área de estruturas arquitetônicas. Os alunos de Arquitetura e Urbanismo, supostamente seriam conhecedores de princípios de funcionamento dos elementos estruturais quando sujeitos a carregamentos e poderiam explicar aos alunos de Expressão Gráfica as necessidades de elementos, articulações, movimentos e deformabilidade dos seus modelos. Por outro lado, os alunos de EG supostamente seriam conhecedores de possibilidades e limitações dos equipamentos de prototipagem rápida e poderiam, assim, materializar os fenômenos estruturais em modelos duradouros e didáticos.
- Difundir o uso da AM como técnica de prototipagem útil para o processo de concepção de estruturas arquitetônicas.
- Criar modelos didáticos e duradouros para o curso de Arquitetura e Urbanismo, visando o seu uso posterior em aulas sobre sistemas estruturais.

Os objetivos específicos da disciplina visaram oferecer aos discentes:

- Capacitação para identificar materiais e escalas apropriados para a construção de modelos estruturais didáticos;
- Experimentação sensorial de fenômenos estruturais;
- Identificação de relações entre a concepção arquitetônica e o comportamento de sistemas estruturais.

Para atingir os objetivos propostos, a disciplina mesclou aulas teóricas com aulas de laboratório onde os discentes desenvolveram trabalhos práticos, nos quais eram incentivados

a unir o arcabouço teórico com a utilização prática de equipamentos, softwares e criatividade para desenvolver modelos físicos tridimensionais.

Como as disciplinas possuíam cargas horárias diferentes entre os cursos envolvidos, o cronograma semestral foi diferente para cada turma (**Quadro 1**). Para os alunos de EG, as aulas foram organizadas em quatro horas semanais, com duas horas iniciais destinadas ao estudo de conteúdo específico sobre Manufatura Aditiva (princípios básicos de Prototipagem Rápida, noções básicas de modelagem voltada para impressão 3D e processos de impressão 3D). Nas duas horas finais, os alunos de AU se uniam aos demais para a troca de informações sobre noções básicas de elementos e sistemas estruturais arquitetônicos e para o desenvolvimento de trabalhos em equipes constituídas por discentes de ambos os cursos.

Semana	AULA 1 e 2 - 13:30h - 15:10h ALUNOS EG	AULA 3 e 4 - 15:30h – 17:10h ALUNOS EG + AU
1	Introdução: Prototipagem e Fabricação Digital	Introdução aos modelos estruturais na Arquitetura
2	Métodos de fabricação digital: Subtração	Apresentação do Kit Mola como referência de modelos estruturais
3	Métodos de fabricação digital: Adição	Proposição Trabalho 1 em grupo: modelo didático sobre momento de inércia
4	Seminário Manufatura Aditiva	Desenvolvimento dos trabalhos sobre momento de inércia
5	APRESENTAÇÃO TRABALHO 1	
6	Impressão 3D: Uso e dicas	Proposição Trabalho 2 em grupos: modelo didático sobre círculo trigonométrico.
7	Desenvolvimento do trabalho círculo trigonométrico (SEM AULA)	
8	Impressão 3D: Softwares para impressão	Desenvolvimento do trabalho círculo trigonométrico
9	Desenvolvimento Desafio Engrenagem	Desenvolvimento do trabalho círculo trigonométrico
10	APRESENTAÇÃO TRABALHO 2	
11	Desenvolvimento Desafio Engrenagem	Proposição Trabalho 3 em grupos: Modelo didático sistemas estruturais
12	Estudos dos Anais do III ENEEEA	
13	Entrega Desafio Engrenagem	Desenvolvimento do trabalho Modelo didático sistemas estruturais
14	Desenvolvimento do trabalho Modelo didático sistemas estruturais	
15	Desenvolvimento do trabalho Modelo didático sistemas estruturais	
16	APRESENTAÇÃO TRABALHO 3	

Quadro 1. Cronograma de aulas da disciplina

Fonte: Autores

MANUFATURA ADITIVA

Como a disciplina optativa do curso de Expressão Gráfica possuía o dobro da carga-horária da optativa do curso de Arquitetura, planejou-se conteúdo e atividades específicas ao aprendizado e prática de Manufatura Aditiva para os alunos de EG. Entretanto, os alunos de AU foram convidados a participar caso houvesse interesse e disponibilidade de horário.

Inicialmente, aulas expositivas abordaram conceitos principais sobre Prototipagem e Fabricação Digital, a importância dos modelos físicos como ferramentas para dar tangibilidade às ideias e a importância do desenvolvimento dos sistemas CAD e CAM para a concepção e construção da arquitetura. Nesta etapa, a sensibilização principal pretendida era a de que, no contexto atual da busca pela industrialização da construção civil, a concepção do projeto de arquitetura deveria estar vinculada aos processos de fabricação digital, o que ainda é raro e há um mercado a ser explorado. Sendo assim, o profissional de expressão gráfica poderia ter mais oportunidades de inserção no mercado de trabalho.

Explicou-se sobre a categorização das técnicas de fabricação digital: adição, subtração e conformação. Mais especificamente com relação aos processos de manufatura aditiva, abordou-se através de seminários preparados pelos discentes as principais classificações de impressão 3D: estereolitografia (SLA), modelagem por fusão e deposição (FDM), jateamento de material (IJP), sinterização seletiva a laser (SLS) e *3 dimensional printing* (3DP). Para cada processo discutiu-se conceitos, maquinário utilizado, mecanismo de operação do sistema, materiais, processo de trabalho, vantagens e limitações dos métodos ou equipamentos e exemplos de aplicação.

Na sequência, foram expostos conceitos importantes sobre impressão 3D, a serem observados pelos discentes posteriormente durante o uso das impressoras disponíveis no laboratório, destacando-se:

- processo de fatiamento da geometria CAD e geração do código de comunicação com a impressora (*Gcode*²);
- espessura da camada de impressão que resulta nos chamados “degraus” (ou “*steps*”) na superfície do objeto impresso e conseqüentemente maior ou menor resolução da peça final;
- preenchimento interno (“*infill*”) das peças a ser configurado no software de fatiamento, considerando resistência da peça versus economia de material;
- necessidade de suportes para regiões do modelo que não estão conectadas ao próprio objeto ou à mesa de impressão, incluindo a análise da combinação entre geometria da peça, orientação de sua impressão e modelagem voltada à impressão;
- subdivisão do objeto em várias partes e estudo de tolerâncias na modelagem, visando sua união para a constituição do objeto final através de encaixes ou colagens.

Os conceitos foram apresentados de forma a enfatizar a importância da avaliação da melhor maneira de imprimir uma geometria, analisando-se qualidade de impressão, tempo e consumo de material. Este conteúdo foi também disponibilizado *on-line* e pode ser acessado através do link: <https://youtu.be/sPWBlcMFDCI>.

Os discentes também receberam orientação de como operar o software e a máquina de impressão 3D. Para um aprendizado aplicado, propôs-se a eles o “desafio da engrenagem”, com o intuito de se conceber a modelagem de ao menos duas peças que se encaixassem e que uma movimentasse a outra. Apesar do objeto proposto ser aparentemente simples, o maior desafio de projeto era que a sua impressão fosse única, ou seja, que as peças não necessitassem nenhum encaixe ao final da impressão. Para essa atividade, os alunos foram organizados em duplas ou trios, tiveram que conceber digitalmente suas ideias já pensando nas limitações dos equipamentos disponíveis. Dessa forma, perceberam a importância da modelagem digital focada à manufatura aditiva e puderam refletir sobre alguns aspectos de projeto, como: (1) descobrir a tolerância entre as dimensões da modelagem e da peça prototipada para que seus elementos não ficassem nem muito justos, nem muito soltos entre si, garantindo o funcionamento pretendido; (2) planejar a geometria das peças com foco na orientação de impressão para que não houvesse necessidade de suportes durante a impressão, o que poderia inviabilizar a geração de um protótipo funcional, sem pós processamento ou montagem; (3) planejar a geometria para que o conjunto não se desmontasse ao ser manuseado.

As soluções propostas foram bastante diferentes entre si e permitiram a absorção de conceitos importantes pelos discentes. A equipe “A”, por exemplo, concebeu duas engrenagens envoltas por uma peça que deveria manter o conjunto unido. Na sua primeira versão, o afastamento entre as peças na modelagem virtual não foi suficiente para que as peças impressas se

² Linguagem de programação padronizada para ordenar máquinas do tipo CNC (Comando Numérico Computadorizado) executarem algo.

movimentassem com facilidade e o pino que serviria para girar uma das peças ficou com diâmetro muito reduzido, o que dificultava o manuseio. A segunda versão conseguiu corrigir esses problemas e atendeu os objetivos da atividade (**Figura 2**).

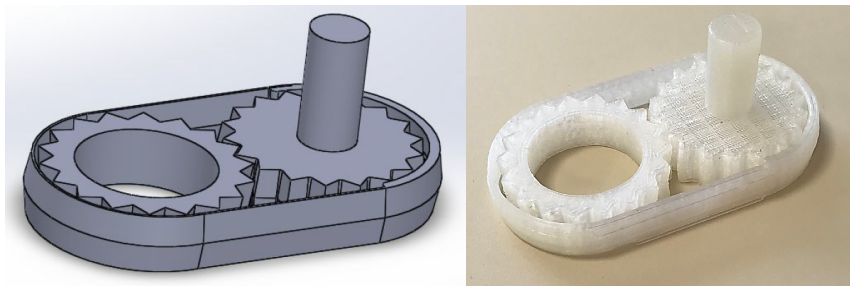


Figura 2. Proposta da equipe A para o “desafio da engrenagem”. À esquerda, a modelagem virtual; à direita, o protótipo realizado em impressora 3D FDM.

Fonte: Autores

A equipe “B” desenvolveu duas engrenagens redondas envoltas por um suporte externo, com o design inspirado no formato de um coração. O prato superior da engrenagem foi modelado de forma cônica, ou seja, com uma inclinação de 45° para que as peças não se desmontassem, mas ao mesmo tempo não fosse necessária impressão de estruturas de suporte. O primeiro protótipo impresso (**Figura 3**) foi modelado com medidas em centímetros e permitiu a constatação de uma falha de unidades, uma vez que o software da impressora trabalha em milímetros. Como resultado, o objeto ficou fora de escala, muito pequeno e com os componentes grudados entre si. Correções no modelo virtual e redução de sua altura, visando economia de material, resultaram em um segundo protótipo (**Figura 4**) que atingiu os objetivos do desafio proposto.

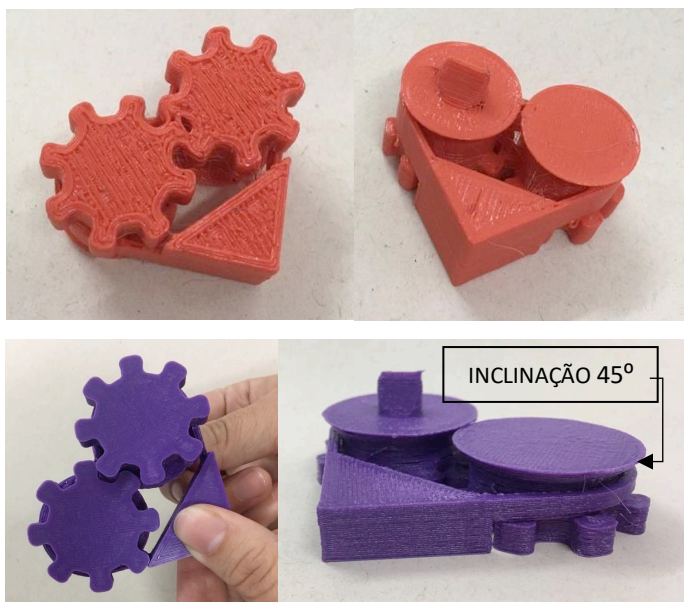


Figura 3. Primeiro protótipo da equipe B para o “desafio da engrenagem”.

Fonte: Autores

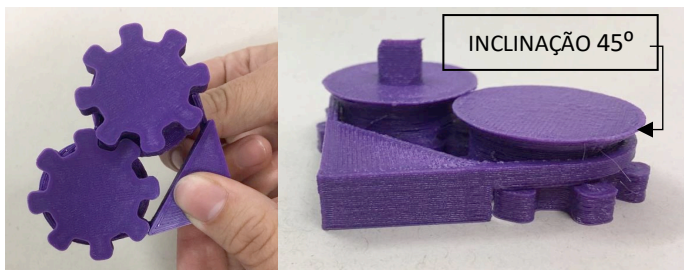


Figura 4. Segundo protótipo da equipe B para o “desafio da engrenagem”.

Fonte: Autores

ATIVIDADES COLABORATIVAS PROPOSTAS

Ao longo da disciplina, foram propostos três trabalhos práticos em conjunto entre os discentes dos dois cursos, visando a experimentação aplicada dos conceitos de manufatura aditiva e sistemas estruturais.

Modelo didático 1 – Momento de inércia

Solicitou-se de cada equipe a criação de um modelo tridimensional para se representar a conceituação de “momento de inércia”. A eficácia de elementos estruturais está diretamente relacionada com a sua rigidez, a qual, por sua vez, depende diretamente da forma da sua seção

A manufatura aditiva como suporte à aprendizagem colaborativa e interdisciplinar em AEC: uma experiência integradora com o futuro profissional de expressão gráfica

transversal. A rigidez é uma propriedade da peça, definida como a relação entre a tensão aplicada e a sua deformação elástica. Ela pode ser avaliada a partir de uma característica geométrica da seção transversal denominada de momento de inércia, cujo cálculo é fundamental à análise estrutural. A rigidez está relacionada com a posição da peça em relação à sua seção transversal e explica o fato de uma viga de seção retangular ser mais eficiente quando sua maior dimensão fica na direção vertical.

A existência de modelos didáticos para explicar o momento de inércia é interessante porque os alunos têm dificuldade de entender o seu conceito abstrato. Os modelos, sendo flexíveis, permitem a comparação da deformação das peças sob diferentes solicitações e em diferentes posições da sua seção transversal em relação aos seus eixos. Isso pode facilitar a compreensão analítica do conceito.

Neste primeiro trabalho proposto o uso da manufatura aditiva ainda não foi um requisito, mas deixou-se em aberto a escolha de técnicas e materiais para o desenvolvimento dos protótipos. O objetivo pretendido era, primeiramente, a integração entre os alunos dos dois cursos e o entendimento da importância dos modelos didáticos para exprimir conceitos por vezes abstratos. O trabalho também visava explorar a capacidade dos discentes de AU em explicar o fenômeno estudado aos alunos de EG, uma vez que estes não têm em seu currículo disciplinas que envolvam conceitos estruturais.

As fotografias a seguir mostram alguns modelos didáticos desenvolvidos por alunos para o assunto em questão. A **Figura 5** ilustra o modelo da equipe “A” com a proposta de representar visualmente a deformação de vigas simplesmente apoiadas variadas em um gráfico, conforme a sua posição e o carregamento a elas imposto.

Figura 5. Modelo didático desenvolvido por alunos que apresenta momento de inércia em vigas através da visualização gráfica da sua deformação.

Fonte: Autores



A **Figura 6** ilustra o modelo da equipe “B”, que permite fixar peças com diferentes seções transversais por uma das suas extremidades, simulando o comportamento de vigas em balanço, em um apoio capaz de aplicar um giro de 360 graus à peça. O modelo permite que a peça fique fixada (engastada) em uma extremidade e livre na outra e possa ser rotacionada em torno do seu eixo longitudinal central. À medida em que a seção transversal gira, sua deformação aumenta ou diminui. Quando aumenta, significa que o momento de inércia diminuiu, e vice-versa. A variação de deformação da peça permite que o aluno identifique as posições dos eixos da seção transversal que apresentam maior resistência e assim, identificar a posição mais apropriada para aplicação das peças em projetos arquitetônicos.

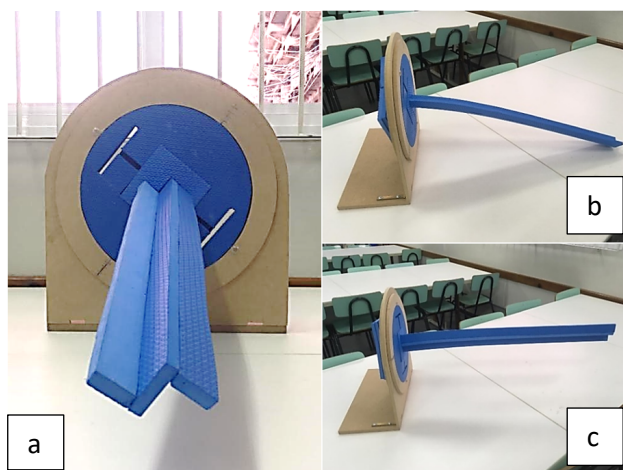


Figura 6. Modelo didático para o ensino de momento de inércia através da rotação da peça (a), mostrando respectivamente a peça em posição favorável à deformação (b) e em posição resistente à deformação (c).

Fonte: Autores

A **Figura 7** ilustra o modelo da equipe “C”, que buscou reproduzir o comportamento de pilares perante a aplicação de esforços de compressão. Foram desenvolvidos diferentes tipos de peças, mostrando seções transversais mais ou menos resistentes e provando que pilares com momento de inércia mais baixo se deformam mais do que aqueles com momento de inércia mais elevado. A equipe se preocupou em desenvolver todas as peças com a mesma área de seção transversal, de forma a obter uma comparação real entre a efetividade das seções. Como em situações reais de projeto de estruturas procura-se conceber peças o mais rígidas possível, por questões de segurança e economia, o modelo permite uma conclusão bastante objetiva sobre seções mais coerentes para a aplicação em pilares.



Figura 7. Modelo didático para o estudo de momento de inércia em pilares sujeitos ao esforço de compressão simples, o qual é aplicado no centro geométrico da seção do pilar para visualização da direção de menor resistência da peça.

Fonte: Autores

Modelo didático 2 – Círculo trigonométrico

Solicitou-se de cada equipe a criação de um modelo tridimensional para se representar e se ensinar o comportamento do círculo trigonométrico. A análise gráfica do círculo trigonométrico é bastante representativa no ensino de geometria plana. O gráfico permite, entre outras possibilidades, entender a relação entre seno, cosseno, tangente e cotangente e visualizar diversas relações trigonométricas que são estudadas no ensino da geometria, mas que podem ser totalmente abstratas se ensinadas somente pelo seu aspecto analítico.

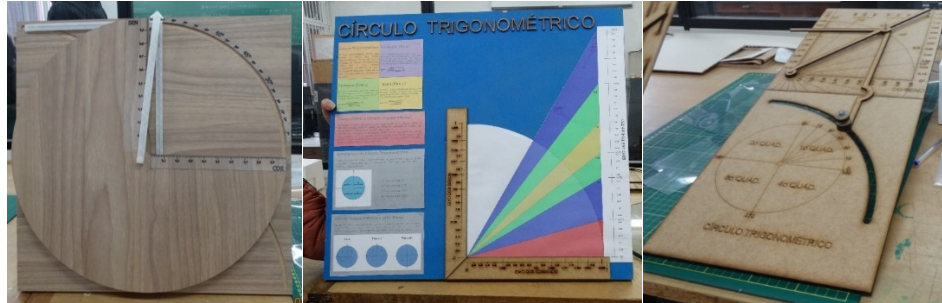
O trabalho proposto teve como requisitos a criação de um modelo didático que permitisse ao usuário simular diferentes ângulos e verificar o seu comportamento de forma fácil e interativa. Sugeriu-se também que os modelos fossem facilmente transportáveis, visando o seu uso em escolas. Nesse trabalho, a utilização da manufatura aditiva não era obrigatória, porém foi incentivada. Também se incentivou a utilização de outras técnicas de prototipagem rápida como o corte e gravação a laser. De modo contrário ao primeiro trabalho, esperava-se que os alunos de EG tivessem maior conhecimento sobre o tema, uma vez que em sua grade curricular existem disciplinas como desenho geométrico, três disciplinas de cálculo e geometria dinâmica.

A manufatura aditiva como suporte à aprendizagem colaborativa e interdisciplinar em AEC: uma experiência integradora com o futuro profissional de expressão gráfica

As equipes foram criativas na construção do mecanismo e na variedade de materiais utilizados, que variaram entre MDF, papelão, acetato, vinil, acrílico e alguns componentes impressos em 3D. A **Figura 8** ilustra alguns modelos apresentados nesse trabalho.

Figura 8. Modelos didáticos de círculo trigonométrico confeccionados com diferentes materiais e técnicas de prototipagem.

Fonte: Autores



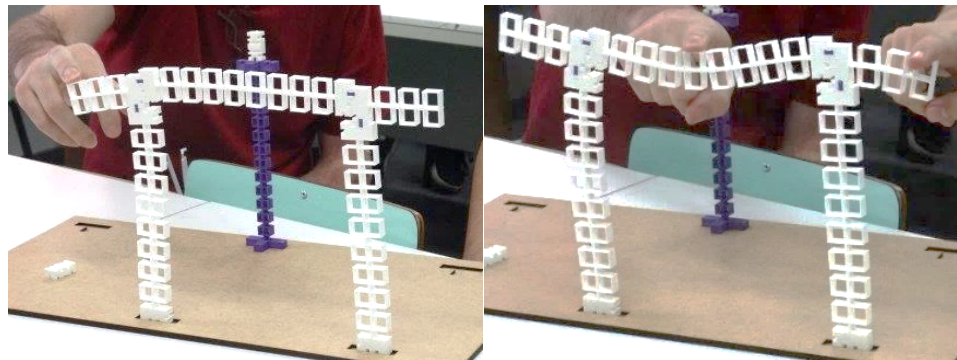
Modelo didático 3 – Sistema estrutural

O último trabalho proposto para os alunos foi a criação e o desenvolvimento de um modelo reduzido didático com a finalidade de mostrar o mais fielmente possível o comportamento de elementos de um sistema estrutural quando submetido a um determinado carregamento. Neste trabalho específico, a partir do conhecimento dos vários tipos de elementos ou sistemas estruturais, cada equipe foi solicitada a conceber e confeccionar o referido modelo prioritariamente através da impressão 3D, o que permitiu modelos mais duradouros, com melhor acabamento, e notou-se a rápida exploração de soluções diferentes até se chegar na situação desejada.

O protótipo representado na **Figura 9**, simbolizando um modelo estrutural com dois pilares sustentando uma viga biapoiada com balanços, apresentou comportamento bem interessante. Formado por um conjunto de elementos retangulares vazados interligados por uma linha central, o modelo idealizado proporcionou de forma bastante clara e didática a visibilidade de deformações de tração e compressão, características da flexão. Pode-se perceber na figura diferentes deformações nas peças estruturais, ocasionadas pela mudança do local de aplicação da carga.

Figura 9. Modelo didático estrutural A: viga biapoiada com balanços.

Fonte: Autores



Um elemento estrutural muito utilizado na construção civil é a treliça, formada pela associação de barras curtas conectadas entre si de forma a constituir triângulos. Todas as ligações entre as barras de uma treliça são admitidas articuladas, com giro livre de uma barra em relação às outras. Na **Figura 10**, uma das equipes apresentou os módulos básicos conceituais deste modelo. Inicialmente, construíram um módulo formado por quatro barras ligadas entre si por parafusos, que comprovou que o conjunto assim constituído não é estável para uma carga atuando no plano das quatro barras (**Figura 10a**). Para estabilizá-lo, foi constatada a necessidade de se impedir a rotação (giro) relativa entre as barras, tendo sido então propostas as seguintes maneiras de travamento:

- O uso de dois ou mais parafusos em cada ligação de barras, de forma a constituir um módulo menos flexível que o anterior.
- A inserção de elementos triangulares nos vértices do quadro, para impedir o giro entre as barras, obtendo assim o módulo básico de uma viga do tipo Vierendeel (**Figura 10b**).

O acréscimo de uma barra diagonal entre as quatro barras, formando o módulo básico dos sistemas estruturais treliçados (**Figura 10c**).

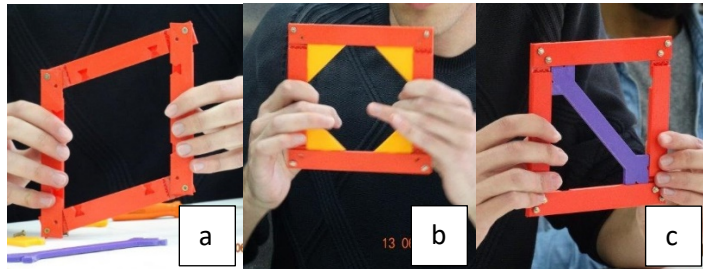


Figura 10. Modelo didático estrutural B: treliça.

Fonte: Autores

Esses e os demais trabalhos apresentados na disciplina cumpriram com todos os requisitos estabelecidos para a atividade, ilustrando conceitos importantes para o estudo de elementos e sistemas estruturais, como articulações, deformações, vinculações e relações dimensionais entre as peças.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante a disciplina, foram aplicados alguns questionários para registrar a percepção dos discentes. No primeiro questionário participaram 14 alunos de EG e 5 de AU, e perguntou-se qual seria a importância de certos conceitos e/ou habilidades para esta disciplina. Para as respostas, os discentes poderiam escolher um valor de 0 a 4, onde o zero seria “nenhuma importância” e quatro “muita importância”. Foram listados sete conceitos: estruturas, desenho arquitetônico, modelagem 3D, impressão 3D, criatividade, projeto colaborativo e cálculo. Pelas médias obtidas, os alunos demonstraram que acreditavam que conhecimento de cálculo era o menos relevante para a disciplina. Conhecimento sobre estruturas foi considerado tão importante quanto sobre modelagem 3D e a criatividade foi considerada como o conceito mais importante para a disciplina, seguida pelo projeto colaborativo e pela impressão 3D, respectivamente (**Figura 11**).

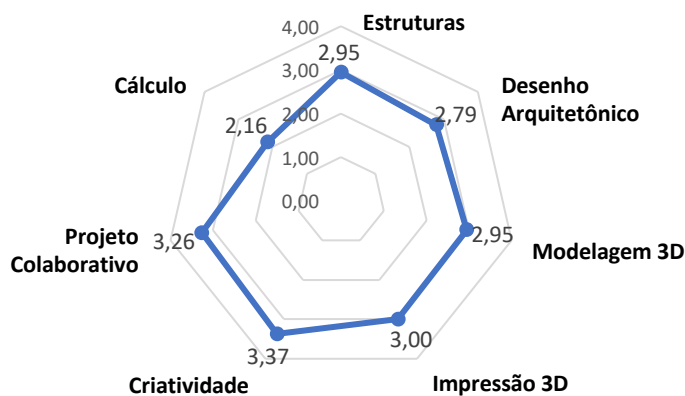


Figura 11. Grau de importância de conceitos para a disciplina, segundo medição feita com alunos no início da disciplina.

Fonte: Autores

Ao longo do desenvolvimento da disciplina, percebeu-se um comportamento favorável dos discentes dos dois cursos envolvidos à integração de saberes, assim como notou-se que estudantes podem ensinar conceitos entre si (instrução entre pares ou *peer instruction*) de forma eficiente. Um segundo questionário aplicado após o 1º trabalho, fez a seguinte pergunta:

Para o sucesso do trabalho em equipe, quão importante foi o trabalho colaborativo entre alunos de Expressão Gráfica e Arquitetura? Dos treze alunos que responderam essa questão, nove (69%) consideraram importante ou muito importante (graus 3 e 4 na **Figura 12**).

Além disso, segundo a observação do autor participante, percebeu-se que os melhores resultados obtidos, principalmente no último trabalho, foram daqueles grupos que conseguiram uma integração harmoniosa e profícua entre os alunos dos dois cursos. E um fator importante para isso, foi a boa capacidade de comunicação. Alunos de Arquitetura, conseguiam explicar satisfatoriamente os conceitos abstratos aos alunos de Expressão Gráfica e estes, por sua vez, conseguiam colaborar nas ideias e proposições, apresentando as facilidades, potencialidades e, principalmente, limitações que encontrariam ao fazer um modelo físico com a impressora 3D disponível.

Figura 12. (Esquerda) Para o sucesso do trabalho 1, quão importante foi o trabalho colaborativo entre alunos de Expressão Gráfica e Arquitetura?

Fonte: Autores

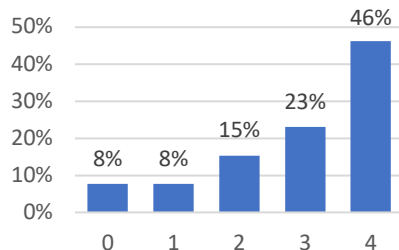
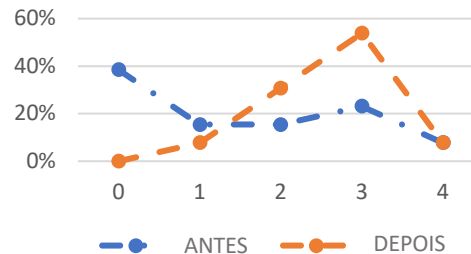


Figura 13. (Direita) Qual seu nível de conhecimento sobre estruturas ANTES e APÓS o primeiro trabalho da disciplina?

Fonte: Autores



Outro dado interessante foi obtido ao analisar as respostas da seguinte pergunta: “Como você julgaria seu conhecimento sobre estruturas antes e após a realização do 1º trabalho da disciplina?”. Para as respostas, os discentes poderiam escolher um valor de 0 a 4, onde o zero seria relacionado a nenhum conhecimento e 4 a muito conhecimento. Percebe-se pela **Figura 13** que os modelos auxiliaram na visualização e entendimento dos conceitos – houve uma diminuição na resposta de graus mais baixos (0 e 1) e aumento dos graus 2 e 3.

Entretanto, é curioso observar que essa movimentação se deu apenas para os alunos de EG que não tinham conhecimento prévio sobre o assunto. Analisando individualmente as respostas, nota-se que todos os alunos de EG indicaram um acréscimo de ao menos 1 ponto no grau de conhecimento sobre estruturas, enquanto todos os alunos de AU mantiveram suas respostas para antes e após. Não se pode tirar conclusões estatísticas devido à baixa quantidade de alunos respondentes, uma vez que do total de 13 alunos participantes desse questionário, apenas 4 eram de Arquitetura. Cabe, porém, uma reflexão para se avaliar futuramente se os modelos seriam mais úteis para iniciantes no curso, uma vez que os alunos de AU já estavam próximos do final do curso e talvez já tivessem uma boa compreensão do comportamento das estruturas com relação ao momento de inércia. Ainda assim, alguns comentários obtidos dos alunos de AU e de EG sobre como o modelo físico os ajudou a entender melhor o conceito de momento de inércia, foram:

- O modelo ajudou a visualizar espacialmente a deformação de flexão dos elementos estruturais, bem como possibilitou diferenciar a variação do momento de inércia quanto ao sentido de aplicação da força perpendicular à peça.
- Os modelos desenvolvidos, tanto por nós quanto pelos outros grupos, ajudaram na visualização desse conceito e a perceber como uma peça, mesmo com material muito flexível, garante estabilidade quando composta por perfis, por causa do conceito do momento de inércia.

O modelo torna mais visível a teoria, possibilitando maior assimilação. Com fórmulas e esquemas no quadro, o conceito teórico é mais difícil de entender, porque não vemos como acontece fisicamente, por isso o modelo auxilia.

CONCLUSÕES

Este trabalho atingiu seus objetivos ao: 1) pontuar as alterações das DCNs dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil focadas nas tecnologias digitais; 2) apresentar o Curso de Graduação em Expressão Gráfica da UFPR e como ele pode contribuir com a efetiva incorporação dos preceitos levantados nas DCNs de AU e EC; e 3) expor uma experiência desenvolvida com a integração de alunos de Arquitetura e Expressão Gráfica com a utilização da Manufatura Aditiva como ferramenta de auxílio educacional.

Ainda que novas experiências devam ser realizadas, inclusive com a participação de alunos do curso de Engenharia Civil, e que as respostas obtidas nos levantamentos não possuam validade estatística representativa, os resultados apresentados pela disciplina desenvolvida mostraram que o uso de metodologias como a PBL e a instrução por pares são importantes para integrar saberes dos cursos envolvidos e incrementar o aprendizado significativo e mais próximo da realidade profissional; e que a Manufatura Aditiva se apresenta como uma ferramenta educacional útil para essa integração, principalmente sendo uma tecnologia que destaca a capacidade do alunos de Expressão Gráfica se inserir no ecossistema da AEC como colaboradores no processo de projeto, além de gerar entusiasmo e engajamento dos alunos de Arquitetura.

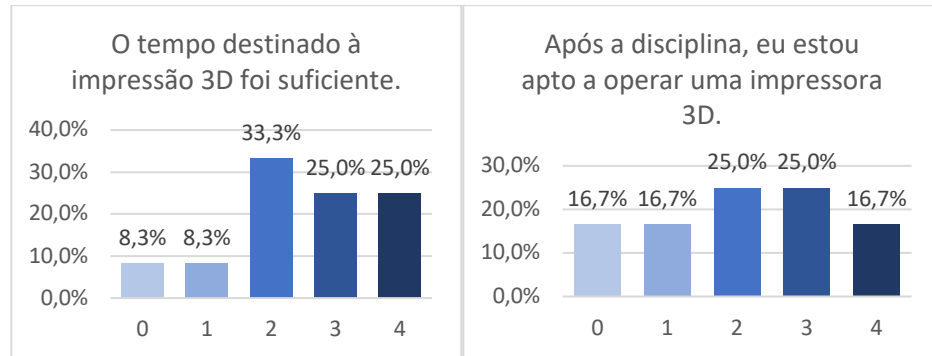
O processo evolutivo de desenvolvimento de modelos mostrou que os fatos ocorridos ao longo de sua concepção conduziram a novas situações, imprevistas pelo planejamento da disciplina, mas que geram aprendizado significativo. Percebeu-se que os modelos didáticos físicos facilitam a explicação de conceitos teóricos abstratos, mas além disso, a proposta de criação por parte dos discentes exige maior assimilação dos conteúdos e geram inúmeras possibilidades de discussões que reforçam o aprendizado.

Ainda que na disciplina realizada tenham sido usadas várias técnicas de prototipagem (incluindo corte a laser), o foco do estudo se deu no uso da impressão 3D, que além de despertar maior interesse nos alunos, como relatado em outros trabalhos (STERN et al., 2019; CHIU et al., 2016; HULEIHIL, 2017), permite a produção de modelos com alto grau de precisão e qualidade de acabamento, além de estimular e desafiar a criatividade pois possibilita que se testem rapidamente várias ideias durante a concepção das peças. No último questionário da disciplina, 17 dos 19 discentes envolvidos reconheceram que o uso da impressão 3D foi fundamental para o resultado obtido no terceiro trabalho proposto pela disciplina (sistemas estruturais).

Apesar da maioria dos alunos afirmarem que o tempo destinado à impressão 3D na disciplina foi suficiente, não houve uma clara tendência de que eles se sentem aptos a operar uma impressora 3D (**Figura 14**). Dessa forma, acredita-se que os conceitos básicos sobre manufatura aditiva tenham sido suficientes para a execução das tarefas solicitadas, entretanto os discentes precisariam de mais horas práticas de operação de impressoras 3D para uma formação sólida.

Figura 14. Concordância dos alunos sobre o tempo destinado à impressão 3D e sobre estarem aptos a operar uma impressora 3D.

Fonte: Autores



Tais resultados reforçam as diretrizes para o ensino de AM apresentadas por Violante e Vezzetti (2017) que sugerem explorar temas teóricos com abordagem EAD (Ensino a distância), enquanto pode-se utilizar maior parte do tempo em sala de aula (ou laboratório) explorando o desenvolvimento de habilidades e de conhecimento através de experiências práticas em grupo.

Como apontado por Carboni e Scheer (2021), é importante que os alunos saibam as características desejáveis para a modelagem de um objeto que será prototipado através de manufatura aditiva para que consigam utilizar esses conceitos na concepção do design de seus projetos. E somente a experiência prática que consolidará essa noção aos estudantes.

Deve-se considerar, principalmente, “o tempo e volume de impressão, quantidade de material utilizado, orientação da peça e necessidade de estruturas de suporte, além da qualidade da superfície da peça e necessidade de pós-processamento” (CARBONI e SCHEER, 2021).

A importância da aquisição de conhecimento sobre AM através da prática ficou evidente no “desafio da engrenagem” aplicado aos alunos de Expressão Gráfica. No qual eles necessitaram do manuseio dos equipamentos e de várias tentativas para entender suas características e limitações, ainda que isso já tivesse sido abordado nas aulas teóricas.

Outro exemplo que evidenciou essa importância, foi o produto desenvolvido no terceiro trabalho (Figura 9) pela equipe que conseguiu explorar melhor as características mínimas das peças confeccionadas em uma impressora 3D. Tendo em mente isso durante o design conseguiram conceber um modelo que fosse flexível o bastante para demonstrar o comportamento estrutural das peças, que gastou o mínimo de material possível e, conseqüentemente, demandasse pouco tempo de impressão.

O aluno de Expressão Gráfica já tem em sua grade curricular mais oportunidades de utilização e aprendizado sobre Manufatura Aditiva do que o de Arquitetura e Urbanismo. Existem disciplinas obrigatórias e optativas específicas sobre os processos de fabricação digital e prototipagem rápida que exploram os conceitos tanto de forma teórica quanto prática. Esta experiência demonstrou que o aluno de EG efetivamente foi importante no desenvolvimento das atividades (especialmente o último trabalho) pois colaborou com os alunos de AU desde a definição do design dos produtos até sua confecção, justamente por terem maior conhecimento das características e limitações das impressoras 3D, além de sua operação.

Os atuais currículos de Arquitetura e Urbanismo (e também os de Engenharia Civil) já possuem dificuldades de carga horária em abordar todos os temas exigidos aos profissionais dessas áreas, e a criação de disciplinas específicas para o ensino de manufatura aditiva, ou outras técnicas de prototipagem rápida, não parece ser factível. Tendo em vista a atividade profissional, a possibilidade de integração de outros profissionais mais habituados com essas tecnologias já durante a formação, e os resultados desta experiência, conclui-se que é salutar proporcionar experiências interdisciplinares e colaborativas, nas quais os envolvidos possam

exercitar competências específicas de cada área, compartilhar conhecimentos, e colaborar em práticas que gerem aprendizado ativo e mais significativo, como preconizam as novas DCNs discutidas neste trabalho.

Agradecimentos

Agradecemos aos discentes que aceitaram participar desta experiência e colaboraram com a pesquisa com suas opiniões, aos Departamentos de Expressão Gráfica e Arquitetura e Urbanismo da UFPR, principalmente nas pessoas de seus coordenadores, que concordaram com a proposta das disciplinas. Aos professores Maria Regina Leoni Schmid Sarro e Carlos Alberto Adão que colaboraram na experiência aplicada. E ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFPR.

Referências Bibliográficas

ABEA. Desafios do ensino de arquitetura e urbanismo no século XXI. XXXVII Encontro Nacional sobre Ensino de Arquitetura e Urbanismo, XX Congresso da Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo. **Anais...** . p.515, 2019. Rio de Janeiro.

BASSANEZI, C. R. **Ensino aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. São Paulo: Contexto, 2015.

BECKER, F. O que é o construtivismo. **Idéias**, v. 20, p. 87-93, 1993. São Paulo.

BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Resolução Nº 6, de 2 de fevereiro de 2006. Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. **Diário Oficial da União**, 2006. Brasília, DF. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5649-rces06-06&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 1 jul. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Resolução CNE/CES nº 2, de 17 de junho de 2010. Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. **Diário Oficial da União**, 2010. Brasília, DF. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 1 jul. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional De Educação. Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de Abril de 2019. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário Oficial da União**, 2019. Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resoluçãO-nº-2-de-24-de-abril-de-2019-85344528>>. Acesso em: 1 jul. 2020.

CARBONELL, J. **Pedagogias do século XXI - bases para a inovação educativa**. 3º ed. Porto Alegre: Penso, 2016.

CARBONI, M. H. DE S.; SCHEER, S. Manufatura aditiva como ferramenta didática para a formação de profissionais da AEC. Simpósio Brasileiro De Tecnologia Da Informação E Comunicação Na Construção, 3. **Anais...** . p.1-14, 2021. Uberlândia: ANTAC. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/567>>. Acesso em: 3 ago. 2021.

CHIU, P. H. P.; KI, T.; FAN, F.; et al. A project-problem based learning approach for appreciating ancient cultural heritage through technologies: Realizing mystical buildings in Dunhuang Mural. 2016 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE). **Anais...** . p.65-69, 2016. IEEE. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TALE.2016.7851772>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

CORBACHO, A. M.; MININI, L.; PEREYRA, M.; et al. Interdisciplinary higher education with a focus on academic motivation and teamwork diversity. **International Journal of**

Educational Research Open, v. 2-2, n. June, p. 100062, 2021. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2021.100062>>. Acesso em: 25 nov. 2021.

DEGRAF. Graduação em Expressão Gráfica. Disponível em: <<http://www.exatas.ufpr.br/portal/cegraf/>>. Acesso em: 7 maio 2017.

DEGRAF. Projeto pedagógico do curso de expressão gráfica. , 2018. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.exatas.ufpr.br/portal/cegraf/wp-content/uploads/sites/3/2019/09/PPC_Projeto_Pedagogico_de_Curso_Expressao_Grafica.pdf>. Acesso em: 13 out. 2021.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

FERNANDES, S. C. F.; SIMOES, R. Collaborative use of different learning styles through 3D printing. 2016 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE). **Anais...** v. 63, p.1-8, 2016. IEEE. Disponível em: <<http://doi.org/10.1109/CISPEE.2016.7777742>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

FORD, S.; MINSHALL, T. Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. **Additive Manufacturing**, v. 25, p. 131-150, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

FUKUDA, T.; TOKUHARA, T.; YABUKI, N. A dynamic physical model based on a 3D digital model for architectural rapid prototyping. **Automation in Construction**, v. 72, p. 9-17, 2016. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.07.002>>. Acesso em: 20 set. 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GO, J.; HART, A. J. A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation. **Additive Manufacturing**, v. 10, p. 76-87, 2016. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2016.03.001>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

HAAVI, T.; TVENGE, N.; MARTINSEN, K. CDIO design education collaboration using 3D-desktop printers. **Procedia CIRP**, v. 70, p. 325-330, 2018. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.277>>. Acesso em: 7 mar. 2020.

HULEIHIL, M. 3D printing technology as innovative tool for math and geometry teaching applications. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 164, p. 012023, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/164/1/012023>>. Acesso em: 7 mar. 2020.

KERN, M.; SAGAZIO, G.; LOURENÇÃO, P.; et al. A mobilização empresarial pela inovação (MEI) e a defesa da modernização do ensino de Engenharia. In: V. F. de Oliveira (Org.); **A engenharia e as novas DCNs: Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros**. 1a. ed., p.33-43, 2019. Rio de Janeiro: LTC.

KOLITSKY, M. A. Reshaping teaching and learning with 3D printing technologies. **e-mentor**, v. 2014, n. 56 (4), p. 84-94, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.15219/em56.1130>>. Acesso em: 5 set. 2020.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

LUDWIG, P. M.; NAGEL, J. K.; LEWIS, E. J. Student learning outcomes from a pilot medical innovations course with nursing, engineering, and biology undergraduate students. **International Journal of STEM Education**, v. 4, n. 1, p. 33, 2017. International Journal of

STEM Education. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40594-017-0095-y>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

MARTINS, I. L.; PEREIRA FILHO, Z. R. A produção acadêmica sobre a fabricação digital nas escolas brasileiras de arquitetura e urbanismo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019007, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652734>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MONTEIRO, M. T. F. **A impressão 3D no meio produtivo do design: um estudo na fabricação de joias**, 2015. Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2015/09/Dissertação-Marco-Túlio-Ferreira-Monteiro.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

NÓBREGA, P. G. B. DA; NÓBREGA, S. H. S. DA. Engenheiro civil X arquiteto: conflito no aprendizado das estruturas. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 39, n. 1, p. 183–191, 2020. Disponível em: <<http://revista.educacao.ws/REVISTA/INDEX.PHP/ABENGE/ARTICLE/VIEW/1623>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

NOVAK, E.; WISDOM, S. Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science. **Journal of Science Education and Technology**, v. 27, n. 5, p. 412–432, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s10956-018-9733-5>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

OLIVEIRA, M. R. DE; FABRICIO, M. M. Projeto paramétrico e prototipagem rápida: casos em instituições internacionais. In: D. Kowaltowski; D. de C. Moreira; J. R. D. Petreche; M. M. Fabricio (Orgs.); **O processo de projeto em arquitetura**. p.455–469, 2011. São Paulo: Oficina de textos.

OLIVEIRA, V. F. DE. **A engenharia e as novas DCNs: Oportunidades para formar mais e melhores engenheiros**. 1 ed. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

PUPO, R. T. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, n. 3, p. 80, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v1i3.8634511>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, p. 111–124, 2018. Disponível em: <<https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedevolvimento/article/view/e316/193>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

SOUZA, L. V. DE; COSTA, D. M. B. O curso de bacharelado em expressão gráfica da UFPR. **GRAPHICA 13. Anais...**, 2013. Florianópolis.

A manufatura aditiva como suporte à aprendizagem colaborativa e interdisciplinar em AEC: uma experiência integradora com o futuro profissional de expressão gráfica

STERN, A.; ROSENTHAL, Y.; DRESLER, N.; ASHKENAZI, D. Additive manufacturing: An education strategy for engineering students. **Additive Manufacturing**, v. 27, n. March, p. 503–514, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.001>>. Acesso em: 16 mar. 2020.

VACCAREZZA, M.; PAPA, V. 3D printing: a valuable resource in human anatomy education. **Anatomical Science International**, v. 90, n. 1, p. 64–65, 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s12565-014-0257-7>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

VIOLANTE, M. G.; VEZZETTI, E. Guidelines to design engineering education in the twenty-first century for supporting innovative product development. **European Journal of Engineering Education**, v. 42, n. 6, p. 1344–1364, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1293616>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

WU, P.; ZHAO, X.; BALLER, J. H.; WANG, X. Developing a conceptual framework to improve the implementation of 3D printing technology in the construction industry. **Architectural Science Review**, v. 61, n. 3, p. 133–142, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1450727>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

Márcio Henrique de Sousa
Carboni
mhcarboni@gmail.com

Sérgio Scheer
sergioscheer@gmail.com