



FABRICAÇÃO DIGITAL PARA ENSINO EM ERGONOMIA E DESIGN UNIVERSAL

De Paris, Sabine. UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. sparis.arq@gmail.com
Pasa, Mariana. UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. mariana_pasa@hotmail.com
Righi, Angela Weber. UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. angela.w.righi@ufsm.br
Dornéles, Vanessa Goulart. UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. vanessa.g.dorneles@ufsm.br

Resumo

O ensino de Ergonomia e Design Universal nos cursos de Arquitetura e Engenharias exige uma aproximação teórica e prática por meio de metodologias que utilizem novas tecnologias disponíveis no mercado. Abordando, em específico a Antropometria, o uso de fabricação digital e impressão 3D permite que os estudantes desenvolvam a experimentação e capacidade de resolução de problemas. O objetivo deste estudo é apresentar o processo de desenvolvimento de material didático para ensino em Ergonomia e Design Universal (DU), através da fabricação digital e da impressão 3D, de modo que ofereça suporte e contribua na compreensão dos temas. O desenvolvimento de um protótipo em escala envolveu testes e estudos de melhorias para o dimensionamento de um modelo que utiliza os percentis antropométricos. Por meio dos modelos em escala nos percentis desejados (5%, 50% e 95%) é possível demonstrar em sala de aula a relação entre o ambiente e seu usuário com a impressão de elementos do nosso cotidiano como mobiliário, rampas, escadas e fenestrações. Entende-se que a utilização da fabricação digital no ensino em Ergonomia e Design Universal vai ao encontro de novas metodologias para o processo de ensino-aprendizagem, estimulando os estudantes para o estudo das mesmas.

Palavras-chave: Ergonomia; Design Universal; Fabricação digital; Antropometria.

1. Introdução

O estudo dos espaços centrados no usuário envolve tanto o conhecimento das dimensões físicas humanas (altura em pé, altura sentado, entre outras) como as dimensões de trabalho, as quais abordam as dinâmicas do corpo no espaço. Adicionalmente, fatores como idade e limitação física demonstram que não é adequado utilizar no projeto dimensionamentos estabelecidos por valores médios, desconsiderando as reais necessidades de quem utiliza o espaço (PANERO, ZELNIK; 2008). Na relação entre o usuário e o espaço construído, incluem-se ainda os elementos culturais e valores individuais da percepção do espaço, que afetam a qualidade de vida das pessoas (HERZBERGER, 1999; HALL, 2005). Áreas de conhecimento como Ergonomia e Design Universal (DU) proporcionam métodos de entendimento das

necessidades do usuário e, portanto, podem colaborar com processos de projetos centrados no usuário (DORNELES; BINS ELY, 2018).

Para Iida e Buarque (2016) a Ergonomia consiste na aplicação de conceitos de anatomia, fisiologia e psicologia para a resolução de problemas surgidos na relação do homem com o ambiente. Moraes & Mont'Alvão (2003) consideram a Ergonomia além da relação entre homem e ferramenta, incluindo as interações e comunicações que acontecem no ambiente. No caso do Design Universal, MACE *et al.* (1996) definem como a concepção de produtos, edificações e espaços abertos que atendem as diferentes necessidades espaciais e as diferentes limitações dos usuários. Entretanto, o DU se diferencia da acessibilidade, de modo que a acessibilidade promove um design acessível a indivíduos específicos ou grupos de indivíduos com limitações (ORMEROD; NEWTON, 2011).

As temáticas ganham cada vez mais espaço dentro das formações de novos profissionais. O DU, por exemplo, tornou-se conteúdo obrigatório para os cursos de Arquitetura e Engenharias através de resolução nº 1, de 26 de março de 2021 (CNE, 2021). Portanto, diferentes perspectivas relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem e estratégias metodológicas são fundamentais para atender a resolução (MALULI; LOPES; VERGARA, 2022; NETO; ANDRADE; RIBEIRO, 2022; SIMONETTO; MEDEIROS, 2022). A aproximação teórica e prática, tanto na Ergonomia quanto no DU, por meio de dinâmicas de ensino que relacionem os conceitos com a experimentação é fundamental para os estudantes desenvolverem a capacidade de solução de problemas (BRAATZ *et al.*, 2017). A multidisciplinariedade das Engenharias com a Arquitetura permite relacionar os sistemas de interação homem-tecnologia na concepção de artefatos (VERGARA, 2005), os quais proporcionam a discussão de conceitos por meio da aplicação de testes de usabilidade (GONÇALVES, 2017). Adicionalmente, o uso de novas tecnologias na produção de artefatos torna as temáticas mais atrativas aos estudantes ao mesmo tempo que prepara os estudantes para o mercado.

As novas formas de produção associadas à tecnologia digital trabalham como grandes aliadas na inovação de projetos, na fabricação e na construção. Os recentes meios de produção, nos quais se incluem a prototipagem rápida e a fabricação digital incorporam a confecção de artefatos com novas perspectivas de avanço e inovação no aprendizado e assimilação do conhecimento (SCHEEREN, 2021). Dessa forma, o objetivo deste artigo é apresentar o

processo de desenvolvimento de material didático para ensino em Ergonomia e Design Universal, através da fabricação digital e da impressão 3D, de modo que ofereça suporte como material didático e contribua na compreensão dos temas.

2. Desenvolvimento

O estudo caracteriza-se como quantitativo-qualitativo quanto à sua abordagem, centrando-se na explicação das dinâmicas que envolvem a relação do usuário com o espaço. Quanto à natureza, caracteriza-se como pesquisa aplicada, pois está direcionada para a resolução de problemas específicos. Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória, uma vez que busca informações e a construção de hipóteses (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

A Figura 1 ilustra as etapas de desenvolvimento do presente estudo: Etapa 1. revisão de literatura; Etapa 2. definição do objetivo do material; Etapa 3. referências sobre modelos previamente utilizados; Etapa 4. modelagem e prototipagem; e Etapa 5. análise de melhorias. De modo a aproximar o pesquisador do conteúdo já publicado sobre as temáticas de estudo (MARCONI; LAKATOS, 2003), a Etapa 1 deste estudo consistiu na coleta de dados envolvendo pesquisas em periódicos e eventos científicos acerca dos conceitos de Ergonomia e DU e seu ensino nos cursos de Arquitetura e Engenharias. Em complemento, a revisão de literatura sobre o uso de fabricação digital, técnicas de fabricação e a integração da prototipagem na etapa de concepção projetual bem como seus impactos na experimentação, solução de problemas de projeto e no desenvolvimento dos estudantes como profissionais reflexivos.

Figura 1 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autores, 2023

Devido a amplitude das temáticas de estudo, após a revisão bibliográfica percebeu-se que a antropometria aproxima os cursos de Arquitetura e Engenharias ao envolver procedimentos e técnicas para o entendimento de medidas e formas do corpo humano e sua relação com o ambiente (GONÇALVES, 2017). Na concepção projetual, a compreensão dessas medidas é parte fundamental para a definição das dinâmicas de usos e dimensionamentos dos espaços. Notou-se, como parte da Etapa 2, que os manequins articulados retratam, geralmente em escalas reduzidas, medidas e proporções humanas e são ferramentas que, em conjunto com elementos construtivos, podem ser utilizadas no ensino de Ergonomia e DU. Sendo assim, essa foi a temática escolhida para desenvolvimento das etapas seguintes.

Para melhor compreensão dos vínculos entre os modelos antropométricos e o ensino de Ergonomia e DU, a Etapa 3 visou a busca de modelos previamente utilizados, dentro e fora do meio científico por estudos de caso, considerando características físicas e identificando diretrizes aplicadas.

Após a revisão bibliográfica e formulação teórica do estudo antropométrico relacionado à fabricação digital, iniciaram-se os testes de modelagem (Etapa 4) com base nos percentis antropométricos disponíveis no livro de Másculo e Vidal (2011). Devido ao conhecimento prévio dos autores, optou-se por utilizar inicialmente a versão educacional do software SketchUp. Ao decorrer da modelagem percebeu-se a necessidade de buscar outro software que

possibilitasse modelagens mais complexas, dado que as ferramentas SketchUp são limitadas para modelagens anatômicas.

O programa eleito para a modelagem de estudo foi o Rhinoceros, utilizando-se a versão gratuita para teste, o qual atendeu a demanda percebida anteriormente. A produção dos protótipos pilotos foi impressa em filamento PLA (Biopolímero Ácido Polilático) em uma impressora marca Creality, modelo CR-10S Pro, nos espaços do Laboratório de Fabricação Digital do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Fábrica CT.

Por fim, a Etapa 5 de análise dos protótipos impressos, e todo o processo de desenvolvimento, visando melhorias foi realizada.

3. Resultados

A partir dos métodos supracitados, estrategicamente definidos para o objetivo deste estudo, são apresentadas as evidências obtidas para a análise. As próximas seções discutem os resultados encontrados para cada etapa do desenvolvimento do estudo.

3.1. Revisão de literatura sobre fabricação digital e ensino em Ergonomia e DU

A fabricação digital possibilita a produção em massa de diferentes elementos personalizados, conhecido como *mass customization* (CELANI; PUPO, 2008). Este processo está associado ao projeto digital e a manipulação virtual de formas, de modo que os procedimentos são controlados por computador e codificados para a posterior produção (BARBOSA NETO, 2013). Considerando a produção em escala industrial no setor de construção civil, a fabricação digital está associada à produção final de fôrmas ou peças finais de edifícios ou outros elementos que compõem a construção. No caso da prototipagem rápida, associa-se à manufatura e materialização de protótipos que serão utilizados para análise e verificação de modelos virtuais (PUPO, 2009).

A prototipagem rápida divide-se ainda pelo tipo de manufatura: aditiva, subtrativa ou formativa. A manufatura aditiva define-se pela sobreposição de camadas de material, seja sólido ou líquido, por meio de equipamentos como a impressora 3D. A manufatura subtrativa refere-se ao desbaste de um material em equipamentos como fresa, corte a laser e jato d'água. A manufatura formativa é aquela baseada em um molde sobre o qual o material deforma-se e adapta-se (PUPO, 2009; BARBOSA NETO, 2013; FACCA et al., 2022).

Nos cursos de Arquitetura e Engenharias, o uso da prototipagem rápida serve de auxílio ao processo de projeto como ferramenta de criação e de aplicação, unindo o mundo digital ao físico. A experimentação proporcionada pela modelagem e a prototipagem estimula a curiosidade dos estudantes, ao mesmo tempo que gera um ambiente de compartilhamento do conhecimento (FACCA et al., 2022). A solução de problemas de projeto aprimora as diferentes capacidades dos estudantes por meio da pesquisa de dados, uso da inovação e tomada de decisões (FERREIRA; FREITAS-GUTIERRES, 2022). Além disso, proporcionam o desenvolvimento dos mesmos como profissionais reflexivos, refletindo na ação e sobre a ação (SCHÖN, 2009).

3.2. Definição do objetivo do material: Antropometria

Na literatura são encontrados estudos que utilizam a modelagem e a manufatura aditiva para a confecção de próteses e órteses, produtos médicos, mobiliários, produtos de uso cotidiano e mapas táteis em diferentes disciplinas e temáticas (BATISTELLO et al., 2015; SOUZA et al., 2017; ANDRADE; AGUIAR, 2018; SOUSA ET AL., 2019; KERMAVNAR; SHANNON; O'SULLIVAN, 2021). Entretanto, notou-se que existem poucos estudos com modelos antropométricos para o ensino de Ergonomia e DU. Os modelos disponíveis no mercado, como os manequins de maneira, representam a articulação dos movimentos e proporcionalidade entre dimensões do corpo humano. Modelos criados a partir de padrões de medidas, conforme os percentis antropométricos, dificilmente são encontrados. Em complemento, elementos do nosso cotidiano como portas, escadas e mobiliários, que são exemplos base de ensino para a Ergonomia e o DU, não estão associados como modelos físicos que possam ser utilizados no ensino prático.

Ressalta-se que a antropometria deve ser entendida como ferramenta de inclusão, uma vez que entre os princípios de DU (DORNELES et al., 2013) como uso equitativo, baixo esforço físico e espaço para aproximação e uso dependem de um dimensionamento adequado aos diferentes usuários que utilizam um espaço e/ou mobiliário. A eliminação de barreiras físicas depende da assimilação da antropometria e da relação usuário-ambiente por meio de aplicações práticas que demonstrem aos estudantes a importância da temática.

3.3 Referências sobre modelos previamente utilizados

Pesquisas científicas sobre modelos criados a partir do escaneamento 3D de corpos reais, digitalizados para posterior impressões de manequins, buscam auxiliar na confecção de roupas, sapatos e acessórios em conformidade com as medidas das respectivas populações em estudo (SPAHIU et al., 2016; OH; SUH, 2021; COPILUSI et al., 2023). O escritório Mandesso Design, comandado pelo engenheiro industrial Manu Alvarez, desenvolveu 29 modelos humanos digitais abordando os percentis de 1%, 50% e 95% nas idades entre um bebê de 2 meses e adultos. Infelizmente, não é possível ter acesso aos dados do estudo de Alvarez (MANDESSO, 2023). Outros modelos disponibilizados de forma digital, sem caráter científico e de acesso gratuito podem ser encontrados em sites específicos de impressão 3D como o Thingiverse e Cults.

Apesar dos modelos e estudos disponíveis, ainda existem poucos recursos voltados para o ensino de ergonomia e DU, principalmente que não demandem altos recursos de investimento. Portanto, o desenvolvimento de um material didático que possa ser utilizado em diversos cursos e instituições de ensino superior é fundamental para a disseminação do conhecimento.

3.4. Modelagem e prototipagem

Para o desenvolvimento inicial do modelo de estudo foi testado o desenho por sobreposição de imagens no software Sketchup. Com base no encaixe dos manequins de madeira disponíveis no mercado foi verificado que o encaixe original realizado por pregos e molas era de difícil acesso para a fabricação devido à escala de impressão. Apesar dos testes terem sido realizados nas escalas 1:20 e 1:10 (Figura 2), dificilmente seria possível produzir as peças necessárias para o encaixe, tornando-se uma produção manual e artesanal, a qual não

condizia com o objetivo do estudo. O uso de furadeira de bancada e a confecção das molas tornaria o processo longo e de difícil replicação.

Figura 2 – Impressão e furação de testes baseados em manequins de madeira



Fonte: Autores, 2023

Sendo assim, em uma segunda fase, optou-se por utilizar um modelo articulado disponível na biblioteca do site Thingiverse (Figura 3). Apesar de não possuir medidas ergonômicas, o modelo possui um sistema de encaixes que após a impressão funcionou adequadamente para o estudo. Entretanto, o modelo possui direitos de uso e não atendia posicionamentos desejado como a fixação de alcances e a posição em pé/sentado, possuindo articulações além das necessárias para o objetivo do estudo.

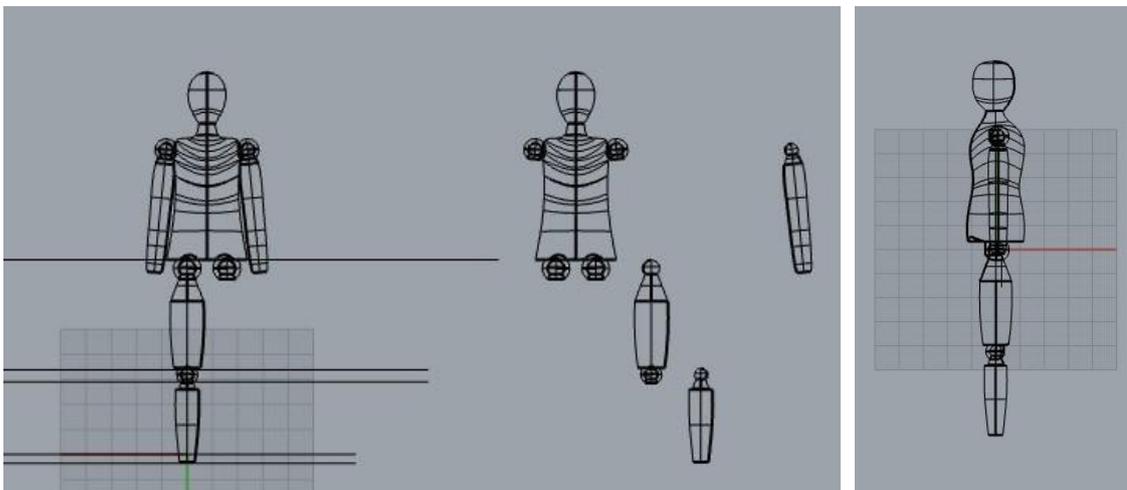
Figura 3 – Impressão de modelo disponível na internet



Fonte: Makermachine, 2023

Na terceira fase, com base no sistema de encaixes e a revisão dos posicionamentos desejados, iniciou-se o desenvolvimento pelos autores de um modelo próprio no software Rhinoceros (Figura 4). O software, voltado para a modelagem digital, permite que diferentes formas possam ser criadas e modificadas. Seus recursos admitem a interação e a associações de diferentes objetos, assim como o desenvolvimento de um desenho paramétrico por meio do plugin Grasshopper. Sua principal desvantagem é a condição de possuir uma licença paga, mesmo para estudantes. Por isso, ele foi utilizado na versão gratuita de teste para verificar ser enquadramento ao estudo proposto.

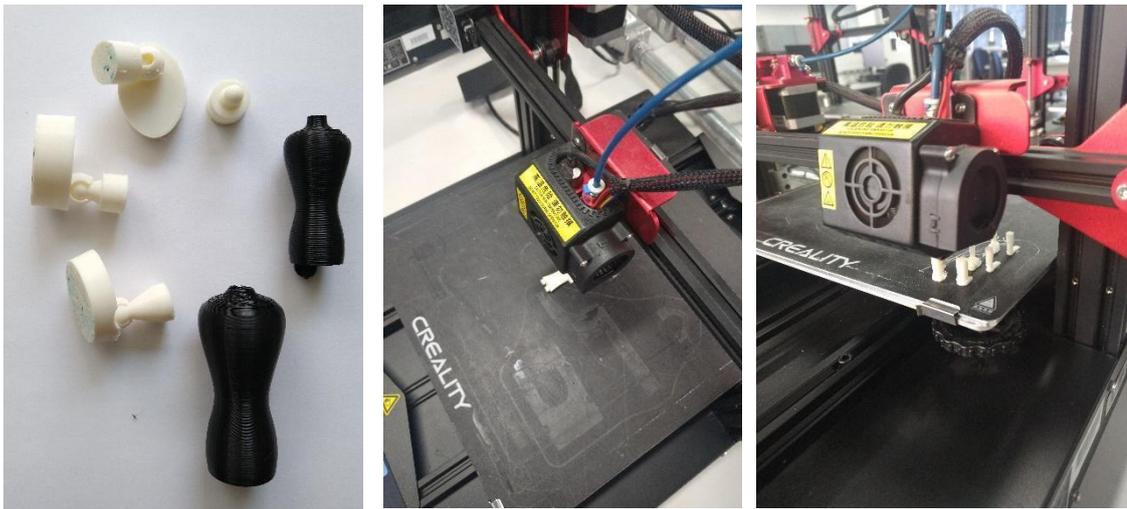
Figura 4 – Modelagem do protótipo



Fonte: Autores, 2023

Foram necessários diversos testes em partes das peças para o funcionamento dos encaixes, de modo que fossem possíveis os movimentos mínimos como: extensão de alcance do braço, posição em pé, posição sentado (Figura 5). A falta de estabilização do movimento, assim como a quebra de peças durante o movimento foram os maiores desafios para que a modelagem funcionasse na impressão. O ajuste fino na dimensão de cada articulação com respectivo encaixe, da mesma forma que sua proporcionalidade para os movimentos foram assegurados após constantes testes de impressão. Igualmente, a configuração do software da impressora 3D, Ultimaker Cura, permite alterar densidades, quantidades de camadas e dimensionamento de espessuras para reforçar a peça e evitar sua quebra. Pretende-se, ainda, explorar o equilíbrio de composição das formas do corpo com esses encaixes, tornando mais harmônico o todo.

Figura 5 – Impressão testes de encaixes do protótipo



Fonte: Autores, 2023

3.5. Análise de melhorias

O protótipo piloto foi impresso na escala 1:20 e 1:10 (Figura 6) com as dimensões antropomórficas do percentil 50% (VIDAL, 2000) para a verificação final dos encaixes modelados. Foi constatado que na escala superior o modelo funciona de forma mais adequada para o estudo proposto, assim como o reforço realizado nas estruturas esféricas para evitar a quebra durante o uso. O ajuste fino traz maior estabilidade e durabilidade para o modelo final.

A partir dos ajustes é possível realizar a modelagem dos outros percentis (5% e 95%) e criar modelos que estejam com dimensões aproximadas ao cotidiano da população.

Figura 6 – Protótipo e portas de simulação.



Fonte: Autores, 2023

De modo geral, deve-se considerar que é preciso aprofundar as habilidades no uso do software Rhinoceros para agilizar o processo de modelagem e minimizar erros. O correto ajuste do modelo exige conhecimento e experiência para identificar problemas como o fechamento incorreto e intersecção de objetos, proporcionalidade das formas e o dimensionamento entre peças de encaixe. Adicionalmente, a configuração do software de impressão Ultimaker Cura que gera os suportes, espessura de camadas, tipo de aderência do objeto à mesa e preenchimento somado ao tipo de filamento utilizado, que precisa atender às necessidades do protótipo.

4. Conclusões

O protótipo desenvolvido para este estudo, através da fabricação digital e da impressão 3D, com o objetivo de ser utilizado como material didático para o ensino de Ergonomia e Design Universal, representa a aplicação prática de dimensões e percentis antropométricos. Os métodos utilizados para a confecção do modelo e os testes na impressão 3D exigiram a investigação dos melhores meios para a concepção de um modelo que pudesse atender as perspectivas de um material inovador. Por meio dos modelos em escala nos percentis desejados

(5%, 50% e 95%) é possível demonstrar em sala de aula a relação entre o ambiente e seu usuário com a impressão de elementos do nosso cotidiano como mobiliário, rampas, escadas e fenestrações.

Contudo, observa-se como limitação a curva de aprendizado exigida no conhecimento de diferentes softwares para modelagem e para impressão. Em específico para a impressão, existem ainda variações conforme o tipo de impressora 3D, que pode utilizar um software genérico (como o Ultimaker Cura) ou software próprio. Deve-se levar em conta, igualmente, a relação entre o objeto modelado e o objeto impresso, tomando-se cuidado com as escalas que cada software utiliza e a possível defasagem entre eles.

O incentivo aos estudantes de participarem na confecção dos elementos e refletirem sobre a interação entre os diferentes corpos humanos, sua dinâmica e seus alcances é fundamental para um ensino ativo e que os prepare para o mercado profissional. O uso do modelo nos cursos de Arquitetura e Urbanismo pode ocorrer nas disciplinas de projeto enquanto nos cursos de Engenharias pode ocorrer nas disciplinas de Ergonomia, uma vez que a antropometria deve ser compreendida pela diversidade das medidas e da interação do corpo humano com o espaço.

Por fim, a aplicação prática e o conhecimento dos diferentes tipos de usuários e de como eles se relacionam com o ambiente possibilita a sensibilização dos alunos para as barreiras que são encontradas no nosso cotidiano e minimizar as barreiras que não garantem a inclusão no todo.

5. Referências bibliográficas

ANDRADE, A. F.; AGUIAR, B. C. X. C. O uso de mapas táteis no auxílio do processo de ensino-aprendizagem por meio do desenho universal. In: VII Congreso Internacional y XV Congreso Nacional de Profesores de Expresión Gráfica em Ingeniería, Arquitectura y Carreras Afines. Facultad de Arquitectura y Urbanismo UNLP, 2018.

BARBOSA NETO, W. **Do projeto à fabricação: um estudo de aplicação da fabricação digital no processo de produção arquitetônica**. 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Unicamp, Campinas, 2013.

BATISTELLO, P.; BALZAN, K. L.; PIAIA, L. P.; MIOTTO, J. Prototipagem rápida e fabricação digital em ateliê vertical: do processo à materialização. In: XIX Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital-Sigradi, p. 137-142, 2015.

BRAATZ, D., PARAVIZO, E., TONIN, L., SILVA, S. Ensino de ergonomia e projeto: experiências de aplicação de uma dinâmica de concepção de espaço de trabalho. **Revista Ação Ergonômica da Associação Brasileira de Ergonomia**, v. 27, 2017.

CELANI, M. G. C.; PUPO, Regiane Trevisan. Prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção: definições e estado da arte no Brasil. **Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo**, v. 8, n. 1, 2008.

CNE. Conselho Nacional da Educação. **Resolução nº 01/2001, de 26 de março de 2021**. Dispõe sobre as diretrizes curriculares nacionais dos cursos de graduação de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo. Brasília: Ministério da Educação. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=175301-rces001-21&category_slug=marco-2021-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 21 de jul. de 2023.

COPILUSI, C.; GEONEA, I.; VLADU, C.; MARGINE, A. Design of a parameterized mannequin using rapid prototyping technology. In: International Conference of Mechanical Engineering (ICOME-2022). Atlantis Press, p. 27-35. 2023.

DORNELES, V. G.; AFONSO, S.; ELY, V. H. M. B. O desenho universal em espaços abertos: uma reflexão sobre o processo de projeto. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 1, n. 8, p. 55-55, 2013.

DORNELES, V. G.; BINS ELY, V. H. M. Experiências didáticas em arquitetura e urbanismo: o ensino de desenho universal. **Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente**, v. 3, n. 2, p. 08-22, 2018.

FACCA, C. A.; FERNANDES, A.; ALVES, J. L.; RANGEL, B.; BARBORA, A. M. **A impressão 3d e as tecnologias emergentes de fabricação digital: a (r)evolução nos processos de ensino de design, engenharia e manufatura**. In: ARRUDA, A. J. V.; ARAÚJO, G. G. Design & Narrativas Criativas nos Processos de Prototipagem. São Paulo: Blucher, 2022.

FERREIRA, C. C.; FREITAS-GUTIERRES, L. F. Aprendizagem ativa por meio da prototipagem rápida em um curso de graduação em Engenharia de Energia. **Revista Thema**, v. 21, n. 3, p. 776-795, 2022.

GHERHADT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.

GONÇALVES, M M. O ensino de ergonomia em um curso de design de moda. **Revista de Ensino em Artes, Moda e Design**, v. 1, n. 1, 2017.

HALL, E. **A dimensão oculta**. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

HETZBERGER, H. **Lições de arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

IIDA, I.; BUARQUE, L. I. A. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Editora Blucher, 2016.

KERMAVNAR, T.; SHANNON, A.; O'SULLIVAN, L.W. The application of additive manufacturing/3D printing in ergonomic aspects of product design: A systematic review. **Applied Ergonomics**, v. 97, p. 103528, 2021.

MACE, R. L.; HARDIE, G. J. PLACE, J. P. **Accessible environments: toward Universal Design** raleigh. NC: Center for Universal Design, 1996.

MALULY, C. V.; LOPES, S. A. P.; VERGARA, L. G. L. Recursos ópticos para ensino-aprendizagem: revisão sistemática sobre tecnologia assistiva voltada à baixa visão. In: Anais do Congresso Brasileiro de Ergonomia da ABERGO. **Anais[...]** São José dos Campos: Parque Tecnológico de São José dos Campos, 2022.

MAKERMACHINE. Poseable mannequin. Thingiverse. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:101451>. Acesso em: 21 jul. 2023.

MANDESSO. **Mandesso Design, Manu Alvarez**. Disponível em: <https://mandesso.com/>. Acesso em: 21 jul. 2023.

MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C. **Ergonomia: trabalho adequado eficiente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia, Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: iUsEr, 2003.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

NETO, V. B.; ANDRADE, E. H. A.; RIBEIRO, P. L. S. Metodologia de ensino-aprendizagem em saúde e segurança do trabalho: um relato de experiência. In: Anais do Congresso Brasileiro de Ergonomia da ABERGO. **Anais[...]**São José dos Campos: Parque Tecnológico de São José dos Campos, 2022.

OH, S.; SUH, D. Mannequin fabrication methodology using 3D-scanning, modeling and printing. **International Journal of Clothing Science and Technology**, v. 33, n. 5, p. 683- 695, 2021.

ORMEROD, M.; NEWTON, R. Is your inclusive my exclusive?: Edinburgh College of Architecture. In: Open Space: People Space 3, An international conference on Research into Inclusive Outdoor Environments for All. Edinburgh, 2011.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores**. Barcelona: Editora GG, 2008.

PUPO, R. T. **Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura**. 2009. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Unicamp, Campinas, 2009.

SCHEEREN, R. **Fabricação digital na América do Sul: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção**. 2021. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

SCHÖN, D. A. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Penso Editora, 2009.

SIMONETTO, L.; MEDEIROS, C. R. P. X. “DEERGO” - Projeto de ensino da ergonomia por meio do Instagram: uma iniciativa de divulgação democrática e acessível da disciplina. In: Anais do Congresso Brasileiro de Ergonomia da ABERGO. **Anais[...]** São José dos Campos: Parque Tecnológico de São José dos Campos, 2022.

SOUSA, F.; GATINHO, N.; DEMAISON, A.; CAMPOS, L. F. Design, ergonomia e impressão 3d: um exercício prático de projeto para protetores de tomada. **Ergodesign & HCI**, v. 7, n. Especial, p. 168-179, 2019.

SOUZA, L. F. D.; ANDRADE, M. F. D.; GRAÇA, I.; CANTALICE, J. D. D. A. Projeto de mobiliário multifuncional-ergonomia aplicada a design de produto. **Revista Ação Ergonômica**, v. 12, n. 2, 2017.

SPAHIU, T.; GRIMMELSMANN, N.; EHRMANN, A.; SHEHI, E.; PIPERI, E. On the possible use of 3D printing for clothing and shoe manufacture. In: Proceedings of the 7th International Conference of Textile, Tirana, Albania. p. 10-11, 2016.

VERGARA, L. G. L. **Avaliação do Ensino de Ergonomia para o Design aplicando a Teoria da Resposta ao Item (TRI)**. 2005. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VIDAL, M. C. **Introdução à ergonomia. Apostila do Curso de Especialização em Ergonomia Contemporânea/CESERG**. Rio de Janeiro: COPPE/GENTE/UFRJ, 2000.