

EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS: POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO

Submetido em: 4/5/2025

Aceito em: 26/8/2025

Publicado em: 27/2/2026

Larissa Aparecida Wachholz¹

Edinéia Zarpelon²

Luis Mauricio Martins de Resende³

PRE-PROOF

(as accepted)

Esta é uma versão preliminar e não editada de um manuscrito que foi aceito para publicação na Revista Contexto & Educação. Como um serviço aos nossos leitores, estamos disponibilizando esta versão inicial do manuscrito, conforme aceita. O manuscrito ainda passará por revisão, formatação e aprovação pelos autores antes de ser publicado em sua forma final.

<https://doi.org/10.21527/2179-1309.2026.123.17230>

RESUMO

Para garantir a formação de engenheiros que consolide questões em torno da sustentabilidade, como emergências climáticas, ética, diversidade sociocultural, entre outros temas afins, destacam-se dois principais pontos: o desenvolvimento de competências de sustentabilidade e o uso de metodologias e estratégias de ensino que propiciem a construção dessas competências. Assim, o presente trabalho propõe-se a analisar as principais metodologias e estratégias de ensino utilizadas na educação para a sustentabilidade (ES) na formação de engenheiros, mediadas por abordagens teóricas ou

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Ponta Grossa/PR, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0002-4401-5728>

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco/PR, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0002-4715-1450>

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Ponta Grossa/PR, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0003-4151-0843>

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

filosofias da aprendizagem. Para tanto, foi desenvolvida uma revisão bibliográfica sistematizada, cuja metodologia adotada para a seleção dos artigos foi a *Methodi Ordinatio*. As palavras-chave utilizadas na busca foram “*engineering education*” e “*sustainability*”, as bases consultadas foram *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*, com limite temporal de janeiro de 2013 a março de 2023. Foi possível classificar 231 documentos como estudos que discutem especificamente sobre metodologias e estratégias de ensino, dos quais 38 foram lidos e analisados na íntegra. Como principais resultados, foram mapeadas 15 metodologias e estratégias distintas que sugerem estarem vinculadas às teorias de aprendizagem com abordagem cognitivista e humanista, destacando teóricos como Lev Vygotsky, Jean Piaget, David Ausubel, Jerome Bruner, Gowin, Paulo Freire e Carl Rogers. Compreende-se assim, que este estudo é uma síntese relevante de metodologias e estratégias de ensino, amparadas em teorias da aprendizagem, que têm a possibilidade de serem aplicadas no contexto educacional para fomentar a educação para a sustentabilidade na formação dos futuros profissionais da engenharia.

Palavras-chave: Ensino superior. Ensino de Engenharia. Teorias de Aprendizagem. Sustentabilidade.

**EDUCATION FOR SUSTAINABILITY IN ENGINEERING: POSSIBILITIES
OF TEACHING METHODOLOGIES AND STRATEGIES**

ABSTRACT

For implementing an education that highlights issues such as sustainability, climate change, ethics, and sociocultural diversity, among other related topics, two main points stand out: the development of sustainability skills and the use of teaching methodologies and strategies that foster these skills. Thus, the present work proposes to evaluate the main methodologies and strategies used for education for sustainability (EfS) in the training of engineers through a literature review. The methodology adopted for selecting the articles to be analyzed was the *Methodi Ordinatio*, composed of nine main stages. The keywords used were “*engineering education*” and “*sustainability*,” which were searched in the

Scopus, Science Direct, and Web of Science databases, with a time limit from January 2013 to March 2023. It was possible to classify 231 documents as studies that specifically discuss teaching methodologies and strategies, of which 38 were read in full for analysis. Fifteen different methodologies and strategies were mapped that suggest they are linked to learning theories with a cognitivist and humanistic approach, highlighting theorists and thinkers such as Lev Vygotsky, Jean Piaget, David Ausubel, Jerome Bruner, Gowin, Paulo Freire, and Carl Rogers. Thus, this study is a relevant synthesis of teaching methodologies and strategies, supported by learning theories, that can be applied in the educational context to foster education for sustainability in the training of future engineering professionals.

Keywords: Higher education. Engineering Education. Learning theories. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

As Instituições de Ensino Superior (IES) se colocam, há muito tempo, no papel de propulsoras da quebra dos paradigmas vigentes para a construção de profissionais mais conscientes das suas responsabilidades perante a sociedade. Contudo, verifica-se que na atualidade, ainda se mantém uma educação nos moldes do pensamento cartesiano e mecanicista (Lozano; Bautista-Puig; Barreiro-Gen, 2021), fomentados pelo que Paulo Freire denomina como “educação bancária”, a qual enxerga os educandos como depósitos de informações (Freire, 2019).

Assim, compreende-se a relevância de iniciativas educacionais que considerem os desafios complexos e multidimensionais enfrentados pela sociedade contemporânea, promovendo, principalmente, habilidades de pensamento crítico sobre a própria realidade dos estudantes (Ozis *et al.*, 2022). Alinhados a essa perspectiva, observam-se alguns currículos de cursos de Engenharia que mudaram o foco de suas abordagens, sobretudo se tratando dos aspectos relacionados à sustentabilidade, passando do ponto de vista meramente de proteção ambiental, para questões de ética, diversidade cultural, recursos naturais e mudanças climáticas. Para a concretização dessas mudanças, destacam-se dois principais pontos: o desenvolvimento de competências de sustentabilidade e o uso de

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

metodologias e estratégias de ensino que fomentem essas competências (Lozano; Bautista-Puig; Barreiro-Gen, 2021; Ozis *et al.*, 2022).

Em particular, no que compete ao segundo ponto supramencionado, D'Ávila (2021), partindo das raízes etimológicas, esclarece que a palavra metodologia pode ser compreendida como estudo dos métodos ou dos caminhos para se alcançar determinado fim. Por consequência, o termo “metodologia de ensino” significa o estudo dos métodos de ensino, os quais se constituem como a parte mais importante e fundamental do fazer docente; são eles que realçam e dão sentido ao trabalho do professor (D'Ávila, 2021). Ainda segundo essa autora, as metodologias de ensino são objetos de mediação, ou seja, funcionam como uma ponte que o professor usa para fazer com que o conhecimento (conteúdos a serem ensinados) chegue de maneira eficaz e significativa aos alunos (sujeitos de aprendizagem).

Assim, entende-se que o saber como ensinar (as metodologias) é tão crucial quanto o saber sobre o que ensinar (os conteúdos). É a metodologia que desempenha um papel importante na transformação da informação em conhecimento, fazendo a conexão essencial entre o professor, o conteúdo e o aluno. Por sua vez, as técnicas são entendidas como os passos operacionais de métodos de ensino e, portanto, estão contidas nos métodos (D'Ávila, 2021).

Numa perspectiva similar, Libâneo (2013) entende por “metodologia” o estudo dos métodos usados em uma determinada ciência, cuja aplicação ocorre por meio da técnica. Já o termo “estratégia” faz referência a como a técnica será aplicada, são as formas de abordar, escolher e aplicar as técnicas visando alcançar os objetivos propostos (Anastasiou; Alves, 2004; Libâneo, 2013). Ou seja, no contexto de ensino formal, as ações e ferramentas escolhidas pelo docente têm um propósito claro e intencional.

D'Ávila (2021, p. 26) acrescenta ainda que, ao escolher um método ou uma técnica “é importante proceder ao exame do objetivo que se tem a alcançar e guardar uma estreita relação entre o como e o para que fazer” e reforça a necessidade de que o perfil da turma seja analisado, tendo em vista que uma determinada técnica pode ser exitosa para determinado grupo, enquanto para outros não.

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Destaca-se ainda que o termo metodologia possui caráter mais amplo, pois representa o caminho teórico-prático que orienta todo o processo de aprendizagem. Ela contempla o plano geral, a abordagem filosófica e o conjunto de princípios que sustentam a forma como o professor irá ensinar. Ademais, uma metodologia pode fazer uso de várias estratégias de ensino.

Neste contexto, se evidencia também a importância de estudar e refletir sobre como algumas pessoas aprendem e outras não, quais as variáveis que interferem diretamente nesse processo, ou ainda, o que acontece quando ocorre a efetivação da aprendizagem (Fontana, 1991; La Rosa, 2007).

A aprendizagem, neste estudo, se apoia na conceitualização de Antunes (2014, p.17), em que se descreve como “[...] um processo de construção, ressignificação, sistematização, valorização e apropriação de saberes cotidianos geradores de transformações permanentes ou relativamente permanentes no aprendiz”. Em outras palavras, se refere às mudanças no potencial de comportamento, conforme apresenta Lefrançois (2016).

Desta maneira, observa-se a relevância da reflexão dos docentes acerca da aprendizagem, uma vez que terão mais possibilidades de planejar suas aulas apoiadas em uma concepção específica de aprendizagem, de modo que se concretize o desenvolvimento das competências de sustentabilidade. Por outro lado, quando o docente não possui uma fundamentação teórica da aprendizagem, a prática se limita a sua intuição, sem um instrumento de análise apoiado em fontes confiáveis (Oliveira; Araujo; Veit, 2017).

Logo, as teorias de aprendizagem (TA) se mostram como imprescindíveis para a sistematização dessa área do conhecimento, possibilitando uma forma particular de olhar para a aprendizagem, bem como explicá-la e prever observações sobre as mudanças de comportamento (Moreira, 2011). Concomitantemente, encontram-se as abordagens teóricas que fundamentam essas análises. Dentre elas estão as teorias comportamentalistas ou behavioristas, as cognitivistas ou construtivistas e as humanistas, as quais serão exploradas de forma mais detalhada na seção seguinte.

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

O fato é que, apesar da importância de estudos e reflexões em torno da aprendizagem, verifica-se a existência de poucos estudos sobre o tema na área de Ensino de Engenharia. Zarpelon e Resende (2020) explicitam a relação das TA com a disciplina de Cálculo I nas Engenharias, buscando relacionar metodologias e estratégias de ensino com o sucesso de alunos nessa disciplina. Por outro lado, se tratando das temáticas alinhadas à educação para a sustentabilidade, não foram localizados estudos que buscassem o vínculo entre essas teorias e as práticas de ensino na engenharia.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo analisar as principais metodologias e estratégias de ensino utilizadas na educação para a sustentabilidade (ES) na formação de engenheiros, mediadas por abordagens teóricas da aprendizagem.

2 ABORDAGENS ALINHADAS ÀS TEORIAS DA APRENDIZAGEM

Uma teoria é um conjunto de informações, em geral constituídas por conceitos e princípios, relacionadas a um assunto específico. Também pode ser definida como um método para adquirir, entender, explicar e lidar com dados e fenômenos relacionados a esse assunto. Nesse sentido, as teorias da aprendizagem (TA) - também conhecidas como teorias do comportamento - são tentativas sistemáticas de explicar e compreender como e por que o comportamento de uma pessoa muda ao longo do tempo (Lefrançois, 2016). Elas servem como um guia para entender o processo de aprendizado.

As TA são organizadas em três abordagens principais: comportamentalismo (ou behaviorismo), cognitivismo (ou construtivismo) e humanismo, sendo que este trabalho estará pautado nas duas últimas. Entende-se que as abordagens cognitivistas e humanistas estão mais alinhadas com os modelos pedagógicos contemporâneos, os quais buscam promover a autonomia, colaboração e o pensamento crítico, em oposição à memorização e repetição características do enfoque comportamentalista que, embora historicamente importante, tem uma aplicação mais limitada nos novos cenários educacionais.

Neste contexto, cabe esclarecer que a concepção cognitivista/construtivista enfatiza a cognição ou o ato de conhecer, até então ignorada pelo behaviorismo. O foco dos cognitivistas era a mente, observada de maneira objetiva e científica. Deste modo, se

EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS: POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO

torna fundamental o estudo dos processos mentais superiores, como a percepção, resolução de problemas, memória, linguagem, compreensão, etc. Nesta perspectiva, a aprendizagem se dá por um processo de construção, em que se destaca o construtivismo como uma posição filosófica do cognitivismo. Para os teóricos dessa corrente de pensamento, o estudante não é mais um receptor de conhecimento, mas um agente na construção da própria cognição (Moreira, 2019). Alguns dos principais representantes dessa abordagem são Piaget, Vygotsky, Vergnaud, Kelly, Bruner, Ausubel e Gowin.

Por sua vez, a abordagem humanista considera os sentimentos, pensamentos e ações do aprendiz, e não somente o seu intelecto. Portanto, a aprendizagem vai além do desenvolvimento cognitivo, visualizando o aprendiz como pessoa, que busca a autorrealização e o crescimento pessoal (Moreira, 2019). Dentre os principais teóricos da abordagem humanista, tem-se Novak, Freire e Rogers.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo optou-se por realizar uma revisão de literatura. Neste sentido, utilizou-se a *Methodi Ordinatio* (Pagani; Kovaleski; Resende, 2015) como metodologia para a seleção dos artigos a serem analisados, a qual possui 9 etapas principais e identifica os trabalhos mais relevantes a partir de um indicador denominado *Index Ordinatio* (*InOrdinatio*). Este indicador é calculado com o ano de publicação (*Publish Year*), número de citações (*Ci*), fator de impacto do periódico (*IF*), além de um fator de ponderação α que varia de 0 a 10 (definido pelo autor), da seguinte maneira:

$$InOrdinatio = (IF / 1,000) + \alpha * [10 - (ResearchYear - PublishYear)] + (\sum Ci)$$

Deste modo, a metodologia dividiu-se em:

Fase 1 - Intenção da pesquisa: na primeira etapa definiu-se a intenção do estudo, que buscou avaliar as principais metodologias e estratégias de ensino presentes nas pesquisas acerca da Educação para a Sustentabilidade no ensino da engenharia.

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Fase 2 - Busca preliminar das palavras-chave: foram delimitadas, inicialmente, as palavras-chave “*engineering education*” e “*sustainability*” para a coleta de dados, com as quais foi realizada uma busca prévia para analisar a coerência da escolha.

Fase 3 - Decisão final das combinações de palavras-chave e base de dados: foram utilizadas as palavras-chave definidas anteriormente para a busca nas bases *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*, com limite temporal de janeiro de 2013 a março de 2023.

Fase 4 - Pesquisa definitiva nas bases de dados: com a realização da busca para esta análise foram localizados 3.334 artigos publicados em periódicos científicos.

Fase 5 - Procedimentos de filtragem: os trabalhos localizados foram filtrados a partir da leitura de título, resumo e palavras-chave, para eliminar aqueles que não faziam parte do escopo da pesquisa, restando 505 artigos que tratavam do tema geral da sustentabilidade no ensino da engenharia. Como critérios de inclusão para o recorte da pesquisa apresentado neste artigo, além de terem relação com os cursos de engenharia, foram selecionados trabalhos cujos temas envolviam as metodologias e estratégias de ensino. Deste modo, foi possível classificar 231 documentos que discutem especificamente a temática.

Fase 6 - Identificação do fator de impacto (IF), ano de publicação e número de citações: para auxiliar na identificação das informações necessárias para a aplicação da *InOrdinatio*, os dados foram exportados com auxílio das ferramentas Mendeley e JabRef, e em seguida para a planilha *RankIn*, desenvolvida pelos autores Pagani, Pedroso e Picinin (2021), que permite a localização do IF e número de citações.

Fase 7 - Ordenação dos artigos por meio da equação *InOrdinatio*: neste momento, foi aplicada a equação e os artigos foram classificados por ordem de relevância. Para selecionar os artigos que seriam lidos na íntegra, optou-se por selecionar 30% do acumulado⁴ do *InOrdinatio*, totalizando 38 trabalhos.

⁴ Para o cálculo do acumulado, foi realizada a soma do *InOrdinatio* de cada um dos 231 trabalhos (n=14.584), e em seguida, calculado valor de 30% dessa soma (n=4.535). Para alcançar esses 30%, foram selecionados 38 trabalhos.

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Fases 8 e 9 - Localização dos trabalhos completos e leitura final: para a sistematização dos dados apresentados nos 38 documentos, foram mapeados os objetivos dos trabalhos, público-alvo, estratégia pedagógica ou metodologia utilizada.

Após a leitura completa dos artigos e a sistematização, buscou-se relacionar as características dessas metodologias e estratégias de ensino com as teorias de aprendizagem cognitivistas e humanistas citadas em Moreira (2019) e detalhadas na introdução deste artigo.

Deste modo, objetivou-se responder à seguinte pergunta: quais as principais metodologias e estratégias de ensino utilizadas na ES na formação de engenheiros, mediadas por abordagens teóricas da aprendizagem? Para esta fase da pesquisa, foram realizados questionamentos secundários, com base no estudo de Zarpelon e Resende (2020), sendo eles: I) Quais as abordagens teóricas da aprendizagem ou filosofias explícitas ou implícitas nos trabalhos analisados?; II) Quais os teóricos apresentados por Moreira (2019) são mais citados?; III) Que conceitos destes teóricos são destacados?

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a leitura e sistematização das informações, os 38 trabalhos foram categorizados em 15 metodologias e estratégias, de acordo com as principais características das abordagens utilizadas, as quais foram analisadas pelos autores. Vale ressaltar que dentre os estudos mapeados, há aqueles que utilizam diferentes metodologias e/ou estratégias na mesma proposta. Dentre as que receberam mais destaque (Quadro 1), grande parte busca desenvolver nos alunos um conhecimento aprofundado sobre as questões complexas da atualidade, como por exemplo, a aprendizagem baseada em problemas (García-Segura *et al.*, 2023), a aprendizagem orientada a projetos (Duarte *et al.*, 2020), os estudos de caso (Cottafava; Cavaglià; Corazza, 2019), o *Design Thinking* (Taimur; Onuki, 2022), entre outros.

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Quadro 1 – Metodologias e estratégias de ensino frequentemente utilizadas na ES para a formação de engenheiros

Metodologia (M) ou Estratégia (E) identificada	Autores	Sigla de identificação ao longo do texto
Aprendizagem baseada em problemas (PBL)	Kioupi; Voulvoulis, 2019; Tejedor, <i>et al.</i> , 2019; Mcwhirter; Shealy, 2020; García-Segura <i>et al.</i> , 2023; Colmenares-Quintero <i>et al.</i> , 2023.	M1
Aprendizagem orientada a projetos (POL)	Leal Filho; Shiel; Paço, 2016; Fini <i>et al.</i> , 2018; Tejedor, <i>et al.</i> , 2019; Duarte <i>et al.</i> , 2020; Sharma <i>et al.</i> , 2017; Børsen <i>et al.</i> , 2021; Hayashi <i>et al.</i> , 2023; Fleaca; Fleaca; Maiduc, 2023; Silva <i>et al.</i> , 2023; Khandakar <i>et al.</i> , 2020.	M2
Sala de aula invertida	Mcwhirter; Shealy, 2020; Buil-Fabregá <i>et al.</i> , 2019; Rodríguez-Chueca <i>et al.</i> , 2020.	M3
<i>Design thinking</i>	Taimur; Onuki, 2022; Colmenares-Quintero <i>et al.</i> , 2023; Saitua-Iribar; Corral-Lage; Peña-Miguel, 2020.	M4
Aprendizagem baseada em desafios	Rodríguez-Chueca <i>et al.</i> , 2020.	M5
Aprendizagem em grupos e oficinas colaborativas	Gramatakos; Lavau, 2019; Saitua-Iribar; Corral-Lage; Peña-Miguel, 2020.	M6
Jogos sérios	Whalen <i>et al.</i> , 2018; Saitua-Iribar; Corral-Lage; Peña-Miguel, 2020.	E1
Estudo de caso	Kioupi; Voulvoulis, 2019; Tejedor <i>et al.</i> , 2019; Martínez Casanovas; Ruíz-Munzón; Buil-Fabregá, 2022; Cottafava; Cavaglià; Corazza, 2019; Kopnina, 2018; Prado <i>et al.</i> , 2020; Børsen <i>et al.</i> , 2021.	E2
Co-criação	Hedden <i>et al.</i> , 2017; Cottafava; Cavaglià; Corazza, 2019.	E3
Uso de mídias sociais	Al-Mulla; Ari; Koç, 2022; Dür; Keller, 2019.	E4
Aprendizagem comunitária/ <i>Service Learning</i>	Hirsch; Yow; Wu, 2023; Tejedor, <i>et al.</i> , 2019.	E5
Simulação/ orientada para a prática	Tejedor <i>et al.</i> , 2019; Gao <i>et al.</i> , 2022; Prado <i>et al.</i> , 2020	E6
Palestra com especialista	Gao <i>et al.</i> , 2022; Børsen <i>et al.</i> , 2021.	E7
<i>Massive Open Online Courses</i>	Li; Zhou, 2018.	E8
Realidade aumentada e realidade virtual	Ayer; Messner; Anumba, 2016; Ronaghi, 2022.	E9

Fonte: Autores (2024).

Neste contexto, observa-se que as metodologias ativas (MA) se evidenciam, considerando o conceito de práticas que colocam o educando como central no processo de ensino e aprendizagem, e o educador no papel de mediador do conhecimento (Andrade

Filho *et al.*, 2024). Assim, grande parte dos trabalhos mapeados neste estudo apresentam uma perspectiva de superação das metodologias tradicionais, optando por um enfoque problematizador, com o intercâmbio dos saberes teóricos e práticos, a fim de promover uma educação transformadora e mais atual (Cunha *et al.*, 2022).

Acerca das teorias de aprendizagem, foi possível mapear que as metodologias e estratégias de ensino localizadas se baseiam principalmente nas abordagens teóricas de Jean Piaget, Lev Vygotsky, Gowin, Kelly, Jerome Bruner, David Ausubel, Carl Rogers e Paulo Freire. Contudo, é relevante evidenciar que essas relações se apresentam de maneira implícita, na medida em que apenas um dos 38 trabalhos possui embasamento direto nas TA. Nas seções seguintes, essas questões serão melhor exploradas.

3.1 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS (*PROBLEM BASED LEARNING* – PBL)

A aprendizagem baseada em problemas (M1) se mostra presente em 15 trabalhos analisados. Segundo os autores, nesta metodologia os estudantes formam pequenos grupos com o intuito de agirem na resolução de problemas. Para isso, recebem orientações do docente sobre como pesquisar e analisar as possibilidades de solução para a questão estabelecida (Tejedor *et al.*, 2019).

Observa-se que a M1 é utilizada em diversos contextos de aprendizagem, sendo aplicada também em conjunto com outras estratégias. Um exemplo disso é o trabalho desenvolvido por Mcwhirter e Shealy (2020), que buscaram integrar o PBL com a sala de aula invertida e conteúdos transdisciplinares, voltados para um projeto sobre águas residuais.

Já Colmenares-Quintero *et al.* (2023) realizaram um projeto na disciplina de Termodinâmica no curso de Engenharia Industrial, com o objetivo de desenvolver nos estudantes as competências necessárias para auxiliarem na transição energética. A proposta foi a formação de grupos que criassem uma solução de energia renovável, a qual deveria ser aprovada e validada pela comunidade.

Verificam-se nesses casos apresentados que os estudantes relataram o aprimoramento do aprendizado com o uso da M1, visto que aumentou o interesse em

considerar o contexto do problema e a opinião da comunidade local, se adequando às distintas realidades (García-Segura *et al.*, 2023; Colmenares-Quintero *et al.*, 2023).

Com relação às teorias da aprendizagem, há indícios de que os estudos analisados acerca desta metodologia abordam dimensões atreladas às teorias de Jean Piaget, Lev Vygotsky, Paulo Freire e Carl Rogers, conforme as definições propostas por Moreira (2019).

Sobre a teoria piagetiana, percebe-se a relação na medida em que o PBL possibilita que os estudantes construam o conhecimento de maneira ativa, principalmente, por meio de trabalhos práticos, ou seja, considerando a aprendizagem pela ação. Há também aspectos que remetem à teoria de Vygotsky, levando em conta o foco dos estudos em uma metodologia que evidencie as relações sociais (Moreira, 2019), como demonstrado no trabalho com a comunidade de Colmenares-Quintero *et al.* (2023).

Considerando as teorias humanistas, há uma ênfase no PBL em trabalhar com casos próximos da realidade, promovendo assim, a possibilidade de desvelamento dos problemas socioculturais da atualidade, conforme Paulo Freire defendia. Ademais, esse uso de problemas práticos e reais é encontrado na teoria rogeriana, assim como o foco na autorrealização do aluno, indo de encontro com o ensino tradicional. Não obstante, é fundamental relatar que o caso do estudo de Colmenares-Quintero *et al.* (2023) é o único que se afasta de Rogers, pois considera a validação da comunidade para a solução proposta, o que pode ser visto nesta TA como uma ameaça externa por alguns alunos, e assim, prejudicar a aprendizagem (Moreira, 2019).

3.2 APRENDIZAGEM ORIENTADA A PROJETOS (*PROJECT ORIENTED LEARNING* – POL)

A aprendizagem orientada a projetos (M2) também obteve destaque no levantamento bibliográfico, sendo verificada em 10 artigos. Essa metodologia, apesar de muitas semelhanças com o PBL, se diferencia por exigir um planejamento para as etapas que irão buscar a solução de problemas e desafios da realidade (Leal Filho; Shiel; Paço, 2016).

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Esses projetos envolvem o trabalho colaborativo e construtivo dos estudantes, que desenvolvem suas habilidades transcurriculares, além das competências voltadas para um futuro mais sustentável (Leal Filho; Shiel; Paço, 2016; Khandakar *et al.*, 2020).

Além disso, a M2 possui as seguintes características: (1) formação de pequenos grupos de trabalho; (2) professor como mediador; (3) aprendizagem centrada no aluno; (4) problemas como fonte de conhecimento e (5) autoaprendizagem (Khandakar *et al.*, 2020).

Observam-se os benefícios do uso da aprendizagem orientada a projetos nos estudos de Fini *et al.* (2018), ao mencionarem que houve uma melhora significativa no desenvolvimento de habilidades de raciocínio e de comunicação, trabalho em equipe e autoeficácia em alunos de um curso de Engenharia de Transporte.

O estudo de Duarte *et al.* (2020) demonstrou também a implementação da M2 em um programa de engenharia: o *European Project Semester* (EPS), que visa proporcionar aos estudantes o trabalho em equipe com membros de diferentes culturas e formações. Desta forma, os projetos são multidisciplinares voltados para a criação e teste de soluções relacionadas à sustentabilidade.

Ademais, Silva *et al.* (2023) investigaram a aplicação da M2 em um curso relacionado a projetos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), com o objetivo de desenvolver nos alunos conhecimento prático, estratégico e colaborativo por meio dessa metodologia ativa. Os estudantes submetidos a ela evidenciaram a importância de trabalhar com questões reais e atuais da própria vida cotidiana, para o desenvolvimento de um pensamento mais crítico.

Alguns autores também indicam a contribuição da M2 para a construção do pensamento criativo e inovador, os quais são catalisadores para promover a conscientização dos alunos sobre a relevância da sustentabilidade (Leal Filho; Shiel; Paço, 2016; Fini *et al.*, 2018; Khandakar *et al.*, 2020).

Acerca da relação com as TA, os indicativos são de que, nestes trabalhos, há uma associação com os conceitos defendidos por Jean Piaget, Lev Vygotsky, David Ausubel e Carl Rogers. Assim como o PBL, a M2 possui características das teorias cognitivistas. Se aproxima de Piaget ao ter como foco os trabalhos práticos dentro dos projetos, com os

alunos proporcionando a si mesmos a aprendizagem, e de Vygotsky quando apresenta o professor atuando como mediador e a interação social como essencial para a aprendizagem (Moreira, 2019).

Já o trabalho de Børsen *et al.* (2021) demonstra uma relação com a aprendizagem significativa de Ausubel, ao propor problemas que os estudantes precisavam resolver com base nos conteúdos aprendidos anteriormente, retomando o que Ausubel nomeia como conceitos subsunçores. Ademais, fica clara a conexão da M2 com a aprendizagem centrada no aluno, colocando-o como foco do processo, e o contato com problemas da própria realidade, tendo assim uma afinidade com os pensamentos de Rogers (Moreira, 2019).

3.3 SALA DE AULA INVERTIDA

Cada vez mais a metodologia de sala de aula invertida (M3) é utilizada no ensino da engenharia, como proposta de aprendizagem ativa, conforme se nota em três trabalhos analisados neste estudo. Nesse conceito, os alunos, ao invés de terem contato com o conteúdo apenas em sala de aula, assistem e/ou leem materiais em casa. Depois, durante a aula, debatem, fazem perguntas e realizam atividades com auxílio do professor (Buil-Fabregá *et al.*, 2019; McWhirter; Shealy, 2020).

Neste sentido, o estudante assume a responsabilidade da autoaprendizagem, guiando o seu próprio processo, enquanto o educador exerce uma função de guia, mediando a assimilação dos conteúdos. É importante evidenciar que, por esse motivo, os professores devem propor materiais de alta qualidade para estimular ainda mais a aprendizagem (Buil-Fabregá *et al.*, 2019).

McWhirter e Shealy (2020) propuseram a M3 em conjunto com o PBL e o conteúdo transdisciplinar em ciência comportamental, em um projeto de águas residuais para a engenharia civil. Para a etapa da sala de aula invertida, o planejamento incluiu que os alunos assistissem a uma série de palestras, acompanhadas de um questionário, pesquisa ou atividade, que validasse a compreensão dos estudantes sobre o assunto. Assim, os alunos iam para a sala de aula com um conteúdo prévio para as atividades de PBL em grupo (McWhirter; Shealy, 2020).

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Rodríguez-Chueca *et al.* (2020) também utilizaram o conceito multimétodos para a ES no ensino superior, optando pelo uso da sala de aula invertida e da aprendizagem baseada em desafios. A M3 foi escolhida a fim de que os estudantes pudessem usar o espaço da aula para analisar, discutir, experimentar e aplicar os conceitos previamente estudados, por meio do compartilhamento de informações entre educandos e educadores. Para isso, a plataforma *EDpuzzle* foi a ferramenta em que os alunos tiveram acesso ao conteúdo em formato de vídeo. Com a análise dos resultados, os autores concluíram que grande parte dos participantes da pesquisa observaram essa metodologia como mais eficaz do que o ensino tradicional, principalmente, por focar nos alunos.

Isto posto, é possível aferir a relação da M3 com as teorias de aprendizagem. A sala de aula invertida é vista como uma metodologia construtivista, em que o aluno participa ativamente de sua aprendizagem, ao estudar com mais autonomia em casa, podendo se aproximar assim dos conceitos apresentados por Piaget (Moreira, 2019).

Por outro lado, ela também pode ser desenvolvida com base nos pressupostos de Vygotsky e Gowin, levando em conta o papel do professor, que na metodologia assume a função de guia e busca verificar se os significados captados pelos alunos estão de acordo com os compartilhados pela sociedade. Destaca-se ainda, em M3, a tríade definida por Gowin entre professor, aluno e materiais educativos, que se relacionam mutuamente (Moreira, 2019).

Além das teorias cognitivistas, percebe-se que os educandos, ao estudarem em casa, de acordo com suas necessidades e demandas, aprendem a aprender, conforme Rogers defendia (Moreira, 2019).

3.4 DESIGN THINKING

O *Design Thinking* (DT) é uma metodologia utilizada comumente para compreender problemas e necessidades reais dos usuários, com o intuito de utilizar a criatividade para propor soluções eficazes e viáveis (Colmenares-Quintero *et al.*, 2023). Essa metodologia de ensino (M4), encontrada em três dos estudos, pode ter efeitos positivos na educação para a sustentabilidade, considerando que sua ênfase está em

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

experiências multidisciplinares e colaborativas (Saitua-Iribar; Corral-Lage; Peña-Miguel, 2020; Taimur; Onuki, 2022).

Na proposta de Colmenares-Quintero *et al.* (2023), a M4 foi aplicada em conjunto com o PBL, para promover uma solução de energia renovável em uma comunidade. As equipes, além de desenvolverem a ideia, precisavam da validação da comunidade, a fim de garantir que a solução atingisse as necessidades da população local. Os resultados indicaram que o trabalho nos grupos proporcionou a criação de iniciativas eficientes para o problema.

Taimur e Onuki (2022) também apresentaram um estudo com a M4 sob uma perspectiva ecológica, com o intuito de promover uma aprendizagem transformadora no ensino digital universitário. Neste projeto, os alunos percorreram as etapas de observação, visão, planejamento, desenvolvimento e implementação, para obterem *insights* sobre questões relacionadas à sustentabilidade. Ademais, houve abordagem transdisciplinar em equipes diversas, levando em conta os pontos de vista presentes na literatura e de outras partes interessadas no problema. No fim, os educandos conseguiram gerar valor colaborativo na solução apresentada.

No que concerne às teorias de aprendizagem, existem características indicando que a metodologia pode ser associada aos conceitos de Jean Piaget, Lev Vygotsky, Paulo Freire e Carl Rogers.

O foco em problemas práticos e a participação dos alunos na construção do conhecimento podem se relacionar tanto com o construtivismo de Piaget, quanto com a teoria humanista de Rogers, a depender da abordagem utilizada pelo educador. Ademais, a função mediadora do professor, que não deposita diretamente os conteúdos, e a aprendizagem por meio da interação entre os alunos nos grupos encontradas nesta categoria reproduzem os pressupostos colocados por Vygotsky. Por fim, a possibilidade que o DT fornece de conhecer e questionar os problemas socioculturais também está presente nas ideias defendidas por Paulo Freire (Moreira, 2019).

3.5 APRENDIZAGEM BASEADA EM DESAFIOS

A Aprendizagem Baseada em Desafios ou *Challenge-Based Learning* – CBL (M5) é uma metodologia presente nos estudos de Rodríguez-Chueca *et al.* (2020), que a propuseram conjuntamente com a sala de aula invertida para o ensino da sustentabilidade e de conceitos de economia circular no ensino superior.

Esse tipo de abordagem possibilita que os estudantes entrem em contato com situações reais, relevantes para o contexto em que estão inseridos. O diferencial é que ocorre a definição de um desafio para que estabeleçam uma solução viável. Vale ressaltar que a proposição de desafios é fundamental para desenvolver nos alunos diversas habilidades transversais (Rodríguez-Chueca *et al.*, 2020).

Apesar dos resultados positivos obtidos com o uso da M5, os pesquisadores identificaram uma grande dificuldade de os estudantes universitários trabalharem coordenadamente em equipe (Rodríguez-Chueca *et al.*, 2020).

No que tange a relação da metodologia com as teorias da aprendizagem, assim como na M2, a M5 apresenta características ligadas a Jean Piaget, Lev Vygotsky, David Ausubel e Carl Rogers. Ou seja, a proposição da M5 pode se basear em diferentes teóricos da aprendizagem.

Na realização do desafio, os alunos participam ativamente, tendo contato com problemas práticos e reais. Neste sentido, a depender do enfoque pretendido pelo docente, a prática se relaciona com os conceitos defendidos por Piaget (destaque para o trabalho prático) e Rogers (foco na autorrealização do educando) (Moreira, 2019). Por sua vez, ao considerar o trabalho em equipe e o papel do professor como mediador do conhecimento, há uma ligação intrínseca com as concepções de Vygotsky, ou seja, o processo de interação social que fomenta a aprendizagem. Além disso, também pode-se verificar o uso do conhecimento teórico, aprendido pelos estudantes anteriormente, para a solução dos desafios, o que se aproxima dos conceitos subsunçores de Ausubel (Moreira, 2019).

3.6 APRENDIZAGEM EM GRUPOS E OFICINAS COLABORATIVAS

Por fim, evidencia-se a metodologia de aprendizagem em grupos e oficinas colaborativas (M6), presente em dois estudos, que se baseia nas dimensões cognitivas,

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

práticas e afetivas para o aprendizado dos alunos. Assim, o processo ocorre em conjunto, com os estudantes se motivando e desenvolvendo um senso de identidade que os leva à mudança de comportamento (Gramatakos; Lavau, 2019).

No estudo de Gramatakos e Lavau (2019), a aprendizagem é vista como social, considerando que se manifesta pela colaboração entre os educandos, a criação de significados coletivos e identidades compartilhadas. Entende-se assim que esses critérios são fundamentais na educação para a sustentabilidade, principalmente no aprendizado informal. Os resultados da pesquisa indicaram que os participantes identificaram alguns grupos que podem fomentar a aprendizagem, como: redes nacionais de estudantes, clubes e sociedades estudantis, grupos ativistas e comunidades acadêmicas fora do campus.

Já a experiência apresentada por Saitua-Iribar, Corral-Lage e Peña-Miguel (2020) utiliza o conceito nas oficinas colaborativas propostas em conjunto com o *Design Thinking* e os jogos sérios, focando no aprendizado dos ODS. Neste caso, os alunos trabalharam em conjunto na função de empreendedores sociais, para operar na gestão de recursos, a fim de reduzir o desperdício, gerar emprego, energia e transporte limpos e habitações sustentáveis.

Portanto, os indícios encontrados revelam que M6 possui características semelhantes aos pressupostos defendidos por Vygotsky. Essa metodologia demonstra o valor da interação social no processo de aprendizagem, que é fundamental para Vygotsky no intercâmbio de conhecimentos construídos de forma histórica, cultural e social (Moreira, 2019).

3.7 JOGOS SÉRIOS

A estratégia de ensino que se utiliza de jogos virtuais ou físicos (E1) em contextos educacionais permite que os estudantes relacionem a experiência proporcionada pelo jogo com contextos da vida real. Desta maneira, pode ser uma ferramenta útil para fixação de conceitos e delimitação de novos potenciais aprendizados (Whalen *et al.*, 2018).

Um dos estudos analisados nesta categoria trouxe como proposta a aplicação do jogo “*In the Loop*” (no circuito), com enfoque no ensino de conceitos sobre economia circular, para alunos de engenharia. Segundo os resultados, o uso dessa estratégia

possibilitou o pensamento holístico sobre as questões da sustentabilidade e a reflexão sobre o próprio papel na adoção de estratégias que incluam conceitos de economia circular nos projetos de engenharia (Whalen *et al.*, 2018).

Outro destaque foi o uso dos jogos sérios em conjunto com a metodologia de *Design Thinking*, que fomentou o conhecimento sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e possibilitou que os estudantes, assumindo o papel de empreendedores sociais, desenvolvessem o pensamento criativo, crítico e sistêmico (Saitua-Iribar; Corral-Lage; Peña-Miguel, 2020).

Sobre as teorias de aprendizagem, nos trabalhos envolvendo E1, as evidências sugerem a presença de aspectos relacionados às conjecturas de Piaget (tendo em vista que os jogos possibilitam a aprendizagem pela ação e exploração, bem como o desenvolvimento de esquema mentais ao resolver os desafios propostos no jogo) e Vygotsky (ao indicar o jogo pode ser uma ferramenta de mediação e colaboração, que possibilita a aprendizagem por meio da interação com os outros).

3.8 ESTUDO DE CASO

A aplicação de estudos de caso (E2) no ensino da engenharia é algo recorrente em diferentes disciplinas, e mais recentemente, tem-se utilizado para ilustrar exemplos relacionados à sustentabilidade, como pode ser visto em cerca de 18% (n=7) dos estudos analisados. Por meio dessa estratégia, é apresentada uma situação, que pode ser hipotética ou não, em que os alunos devem trabalhar para responder questões acerca do caso e propor soluções ou recomendações para os problemas abordados (Tejedor *et al.*, 2019; Prado *et al.*, 2020).

Estudos como o de Martínez Casanovas, Ruíz-Munzón e Buil-Fabregá (2022) demonstram que a qualidade do ensino da sustentabilidade é potencializada quando se utilizam de metodologias ativas pautadas em estratégias que relacionam os conteúdos com experiências reais.

Outro exemplo relevante é a proposta de estudo de caso que visou aliar a ES com o envolvimento dos estudantes na aquisição de habilidades fundamentais para os processos de co-criação e co-design. Os pesquisadores evidenciaram o ensino de

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

conhecimentos básicos sobre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a aplicação desses conceitos de maneira prática. Assim, foi possível propor uma atividade transformadora para que os alunos enxergassem um futuro mais sustentável para a universidade e a comunidade em geral (Cottafava; Cavaglià; Corazza, 2019).

Kopnina (2018) também discute resultados de um projeto que usou três estudos de caso sobre produtos e materiais, a fim de ensinar o valor de circularidade para os estudantes. Foram investigados recipientes de bebidas e embalagens, relacionando-os com os conceitos da economia circular. Constatou-se que os alunos perceberam a diferença do que é ideal, para o que realmente acontece, notando diversos desafios práticos e teóricos para propor um sistema fechado dos produtos.

Verifica-se, assim, que a E2 pode ser muito útil para ilustrar a realidade de maneira complexa. Além disso, pode abordar dilemas éticos, a atuação de diversos indivíduos, distintos valores sociais, bem como o contexto do caso analisado, aproximando o estudo e a vida cotidiana dos alunos (Kopnina, 2018; Børsen *et al.*, 2021).

Com base no exposto, notam-se características que apontam para uma aproximação com as teorias cognitivistas de Lev Vygotsky e Jerome Bruner.

Sobre a proximidade com Vygotsky, destaca-se mais uma vez o papel do professor como mediador que auxiliará os alunos na apreensão de significados. Ademais, os estudos de caso têm uma relação com os contextos sociais e culturais, que o teórico compreendia como originadores do desenvolvimento cognitivo (Moreira, 2019).

Por sua vez, a semelhança com aspectos da teoria de Bruner está na ideia do teórico de um ambiente facilitado pelo educador, em que os alunos são estimulados a buscarem distintas alternativas para o problema proposto, bem como na aprendizagem por descoberta (conceito central da teoria de Bruner), que pode ser fomentada por meio de estudos de caso (Moreira, 2019).

3.9 CO-CRIAÇÃO

A co-criação (E3), encontrada em dois estudos, é vista como uma estratégia construtivista de aprendizagem ativa, em que há envolvimento e interação dos alunos,

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

que modificam o conhecimento por meio da experimentação e do entrosamento com os conteúdos estabelecidos (Hedden *et al.*, 2017; Locatelli, 2021).

Hedden *et al.* (2017) utilizaram essa estratégia em um processo de alfabetização ecológica no ensino superior. Os estudantes tinham como meta pensar de maneira crítica sobre a sustentabilidade, a fim de traduzir os conhecimentos em soluções para problemas complexos da sociedade. A iniciativa proposta foi a *EcoPartners*, que interligou currículos de engenharia com organizações estudantis, proporcionando experiências interativas aos estudantes.

O interessante da iniciativa é que o programa envolve não só os alunos, mas também funcionários e educadores, que assumem o papel de agentes de mudança, compreendendo o impacto positivo que podem exercer no campus da universidade e no próprio cotidiano. Vale ressaltar que os autores defendem um processo contínuo de co-criação do conhecimento, para que os alunos possam pensar, repensar e modificar suas visões e atitudes (Hedden *et al.*, 2017).

Com relação às teorias de aprendizagem, o processo de co-criação já implica a construção do conhecimento com o envolvimento direto dos estudantes, relacionando-o assim com o construtivismo de Piaget. Além disso, essa estratégia de ensino abrange, necessariamente, o aprendizado por meio da interação social, pois precisa de diferentes atores para ocorrer, e assim, se aproxima da ideia de Vygotsky de que os processos mentais superiores surgem dessa interação (Moreira, 2019).

Outra teoria cognitivista presente na E3 é a de Bruner, que traz a predisposição para a exploração de alternativas no ensino, envolvendo a ativação, manutenção e direção (Bruner, 1973). Entende-se que a metodologia analisada propõe essa exploração no próprio processo de interação para construção do conhecimento.

Há ainda aspectos das teorias humanistas, como por exemplo, os princípios rogerianos: a importância da autocrítica dos estudantes para o desenvolvimento da criatividade e independência; o contato com problemas práticos para uma aprendizagem significativa; e o foco no crescimento do aluno (Moreira, 2019). Todos esses conceitos estão intrínsecos à E3.

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Por fim, observa-se a concepção de educação dialógica de Paulo Freire (Moreira, 2019), considerando a interatividade das crenças, opiniões, visões e comportamentos de educandos, educadores e demais envolvidos da universidade, para a aprendizagem voltada à sustentabilidade.

3.10 USO DE MÍDIAS SOCIAIS

Uma estratégia de ensino encontrada em um trabalho da literatura que alia a educação para a sustentabilidade com o contexto dos jovens é o uso de mídias sociais (E4). Essas ferramentas são utilizadas para conscientizar os estudantes, divulgar informações verídicas e relevantes, além de fomentar mudanças de comportamento (Al-Mulla; Ari; Koç, 2022).

Al-Mulla, Ari e Koç (2022) realizaram um experimento por meio de um perfil de mídia social na rede Instagram, em que acompanharam a eficácia desta ferramenta para a promoção de um estilo de vida mais sustentável em jovens adultos. Os resultados indicaram que a campanha influenciou para que, em dois meses, 25% da amostra estudada desenvolvesse pelo menos um hábito mais sustentável. Além disso, 49% dos seguidores expostos ao conteúdo conheceram mais sobre o assunto.

Considerando o contexto de ensino universitário, o uso de mídias sociais, aliado aos conceitos de ES e aos princípios de design persuasivo, pode auxiliar na mudança de comportamento no cotidiano dos estudantes e, consequentemente, promover uma sociedade mais sustentável (Al-Mulla; Ari; Koç, 2022).

Outro estudo relevante com o uso da E4 foi o de Dür e Keller (2019), em que os autores propuseram uma colaboração entre estudantes da Áustria e da Índia para a conscientização sobre a importância dos aspectos ambientais na garantia de qualidade de vida. Neste caso, as mídias sociais foram utilizadas em conjunto com encontros presenciais. Apesar das diversas possibilidades para a E4, os pesquisadores evidenciam que, neste caso, seu uso exclusivo sem o posterior contato “face a face” não demonstrou mudanças significativas na percepção dos estudantes.

Quando se propõe o uso de um recurso tão presente na vida dos jovens, entende-se a preocupação em considerar o contexto social e cultural para fomentar a

aprendizagem. Além disso, a própria ferramenta propicia a interação social, mesmo que de forma digital, o que demonstra a presença de aspectos relacionados com a teoria da aprendizagem de Vygotsky (Moreira, 2019).

Já acerca dos conteúdos divulgados no trabalho analisado, percebe-se um estímulo à autocrítica dos estudantes, que puderem avaliar seus próprios hábitos e repensá-los dentro de suas possibilidades, conforme o teórico Carl Rogers defendia (Moreira, 2019).

3.11 APRENDIZAGEM COMUNITÁRIA/ *SERVICE LEARNING*

Por meio da aprendizagem comunitária (E5), os alunos aprendem além da sala de aula, tendo contato com o mundo real, dentro e fora do campus universitário. Assim, eles têm a oportunidade de compreender os conceitos da sustentabilidade com a colaboração de parceiros como a comunidade externa, ONGs, outros acadêmicos e empresas (Hirsch; Yow; Wu, 2023).

O estudo analisado nesta categoria de Hirsch, Yow e Wu (2023) demonstrou os benefícios da iniciativa “*Serve-Learn-Sustain (SLS)*”, voltada à preparação de alunos de engenharia para enfrentarem os desafios da sustentabilidade. Em suma, os resultados da pesquisa indicaram que os participantes submetidos a essa estratégia desenvolveram quatro habilidades principais: 1. Identificar a interligação entre três dimensões do desenvolvimento sustentável (ambiental, social e econômica); 2. Trabalhar coletivamente em comunidades diversas; 3. Avaliar o impacto das decisões tomadas nas comunidades; 4. Refletir sobre como utilizar os conteúdos estudados na prática.

A E5 traz aspectos presentes nas teorias humanistas de Paulo Freire e Carl Rogers. A proximidade com as pedagogias de Freire está na proposta de educação dialógica presente nas parcerias com a comunidade, em que há não somente uma relação entre educador e educando, mas também com os aspectos sociais, culturais e históricos dos locais em que se realizam as atividades. Desta forma, a educação pode se colocar na posição de luta social, na medida em que desvela os problemas socioambientais das comunidades (Moreira, 2019).

Já sobre a teoria rogeriana, verifica-se que se aproxima do conceito de aprendizagem significativa, que só ocorre quando os alunos notam que os conteúdos são

importantes para atingir seus próprios objetivos. Em outras palavras, ao se depararem com os problemas encontrados nas comunidades, os estudantes podem utilizar os conhecimentos teóricos para proporem soluções viáveis. Ademais, Rogers salientava a relevância do contato com questões práticas e do envolvimento do intelecto e dos sentimentos dos educandos (Moreira, 2019), características essas que estão ligadas à ação na comunidade.

3.12 SIMULAÇÃO/ ORIENTADA PARA A PRÁTICA

Outra estratégia de ensino utilizada na ES para conectar os alunos com a realidade é a simulação (E6), presente em três das pesquisas avaliadas. Nela ocorre uma aprendizagem experimental, oferecendo ambientes mais realistas (artificiais ou sintéticos), para medir, por exemplo, a eficácia de soluções ou planos (Tejedor *et al.*, 2019; Prado *et al.*, 2020).

O *SimuNation*, apresentado por Prado *et al.* (2020), é um caso de simulação focado na educação para a sustentabilidade. Nele os estudantes precisam administrar um país fictício, tomando decisões relacionadas com as dimensões ambiental, social e econômica, para equilibrar o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* e o bem-estar social, com um orçamento limitado. Portanto, com a simulação os alunos têm o dever de transformar o país em um local mais sustentável. O ponto mais interessante do *SimuNation* é que eles recebem ciclos de *feedback*, para assim analisar as próprias decisões e consequências.

Gao *et al.* (2022) também destacam uma iniciativa focada na E6 para a incorporação de conceitos verdes na engenharia mecânica. Para tal, foi realizado um estágio experimental de prática e produção, unindo a aplicação do design integrado e os processos produtivos mais sustentáveis. A simulação proposta teve como foco auxiliar na compreensão e percepção dos alunos sobre produção sustentável.

No que se refere às teorias de aprendizagem, tanto o cognitivista Jean Piaget, como o humanista Carl Rogers podem ser bases teóricas para o desenvolvimento da E6, na medida em que reforçam a necessidade do contato com o trabalho prático (Moreira, 2019), que é explicitamente o foco da estratégia de simulação para a ES. Além disso, os

alunos participam diretamente da construção do conhecimento, ao aplicarem os conceitos teóricos e refletirem sobre as ações realizadas na experiência.

3.13 PALESTRA COM ESPECIALISTA

No estudo de Børsen *et al.* (2021) observa-se que a estratégia de utilizar palestras com especialistas (E7) para a ES é proposta de uma maneira diferente do método tradicional, pois envolve a participação ativa dos estudantes, que conduzem e dirigem os debates.

Através dessas sessões de discussão, os analistas, lobistas, executivos, advogados e cientistas propiciam melhores entendimentos sobre os temas abordados. Assim, demonstram como a ciência e a tecnologia são usadas nas tomadas de decisão que impactam a sustentabilidade (Børsen *et al.*, 2021).

Nesta estratégia nota-se a aprendizagem por meio da interação social, conforme a teoria de Vygotsky. A relação com a teoria está justamente no fato de o processo de aprendizagem ocorrer com a interação social entre os alunos que assumem a posição de organizar o debate dos especialistas convidados (Moreira, 2019).

3.14 MASSIVE OPEN ONLINE COURSES (MOOC)

A proposta de uma aprendizagem personalizada também é uma opção relevante na ES. É o caso do *Massive Open Online Courses* ou MOOCs (E8), em que os conteúdos e caminhos do processo são específicos para cada aluno, o que possibilita um compartilhamento de conhecimento de maneira mais autônoma (Li; Zhou, 2018).

No caso deste estudo analisado, através da identificação do estilo de aprendizagem destinado a cada estudante é possível, por meio do MOOC, recomendar caminhos e conteúdos significativos, de acordo com o aluno que está realizando a atividade. Isso pode tornar o processo mais eficiente, aprimorar o desempenho dos educandos e a participação deles (Li; Zhou, 2018).

O estudo desenvolvido por Li e Zhou (2018) avaliou a eficiência de aprendizagem em um curso no modelo da E8, voltado para o desenvolvimento sustentável em nível universitário. Neste caso, o processo inicia com a identificação do estilo de aprendizado

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

de cada aluno, com base no comportamento apresentado. Os autores observaram que os estudantes se beneficiaram com o aumento da qualidade de aprendizagem em assuntos complexos e interdisciplinares e verificaram um crescimento na interação dos alunos nos fóruns da plataforma, promovendo um compartilhamento de informações entre eles e não somente com os professores.

Nota-se assim a proximidade com a teoria de Lev Vygotsky e a ideia de construtos pessoais de George Kelly. Para Vygotsky, a zona de desenvolvimento proximal é a distância entre o nível real de desenvolvimento cognitivo do estudante - independente de outros - e o nível potencial que ele apresenta - com orientação do professor ou auxílio de outros colegas (Moreira, 2019). Neste ponto, verifica-se a ideia de personalização da aprendizagem das plataformas MOOCs, que captam esses dados para gerar um caminho específico para cada aluno. Por meio dessa estratégia também ocorre a aprendizagem pela interação social nos fóruns, conceito também defendido por Vygotsky.

Com relação à teoria de Kelly, é possível associar a personalização e a troca nos fóruns com o corolário da individualidade, em que se defende a ideia de os estudantes terem construções mentais diferentes uns dos outros, o que não impede o compartilhamento de experiências e significados (Moreira, 2019).

3.15 REALIDADE AUMENTADA E REALIDADE VIRTUAL

Com foco no uso da tecnologia na educação para a sustentabilidade, destaca-se a aplicação da realidade aumentada e da realidade virtual (E9) como estratégia de ensino, levando em conta que permitem a geração, visualização e avaliação de soluções nas engenharias (Ayer; Messner; Anumba, 2016).

A realidade aumentada (RA) foi proposta em uma pesquisa que os estudantes de engenharia arquitetônica, arquitetura e engenharia civil redesenharam edifícios, a fim de aprimorar o desempenho sustentável das construções. A realização da atividade foi facilitada pelo aplicativo educacional *ecoCampus*, desenvolvido para o estudo. Assim, os alunos puderam visualizar o projeto em um espaço existente e reavaliar seus conceitos e visões (Ayer; Messner; Anumba, 2016).

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Os resultados demonstraram que o *app* possibilitou melhores desempenhos na avaliação dos projetos e na geração de conhecimentos sobre sustentabilidade, se comparado ao uso de estratégias em papel. Além desses benefícios, os pesquisadores evidenciam a capacidade de a RA aumentar a motivação dos alunos no processo de aprendizagem (Ayer; Messner; Anumba, 2016).

Já a realidade virtual (RV) foi utilizada em um curso de formação para estudantes, em comparação com um treinamento tradicional, sem o uso de tecnologias. Os resultados da pesquisa indicaram que houve uma diferença significativa no grupo submetido à RV, com relação ao grupo do treinamento tradicional e ao grupo controle, demonstrando que a estratégia pode ser eficaz para promover a aprendizagem do comportamento sustentável (Ronaghi, 2022).

Acerca das teorias de aprendizagem, infere-se que a E9 pode estruturar-se com base nas perspectivas dos cognitivistas Jean Piaget e Lev Vygotsky. Tendo em vista a proposta de os estudantes construírem o conhecimento de forma ativa, através da prática, mesmo que virtualmente, os conceitos de Piaget se sobressaem. Por outro lado, se o foco do uso da realidade aumentada se concentrar na aprendizagem dos contextos sociais e culturais dos alunos, é possível que a proposta esteja alinhada com aspectos da teoria de Vygotsky (Moreira, 2019).

3.16 SÍNTESE INTEGRADORA

Diante do exposto, o mapeamento realizado nesta pesquisa possibilitou uma síntese das principais metodologias e estratégias utilizadas no ensino de engenharia, voltadas para a ES. O Quadro 2 apresenta uma síntese integradora dos indicadores observados nos trabalhos, relacionados a cada teórico da aprendizagem.

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Quadro 2 – Síntese integradora dos indicadores observados em cada metodologia, referentes à TA

Abordagem	Teórico	Indicadores observados	Sigla
Cognitivismo	Ausubel	Uso do conhecimento pré-existente	M2, M5
	Bruner	Exploração por alternativas	E2, E3
	Gowin	Verificação dos significados captados pelos alunos	M3
	Kelly	Corolário da individualidade	E8
	Piaget	Participação ativa dos alunos	M1, M2, M3, M4, M5, E1, E2, E9
		Construtivismo	M1, M3, M4, E2, E6, E9
		Trabalho prático	M1, M2, M3, M4, M5, E2, E6, E9
		Situação prática	E1
	Vygotsky	Interação social	M1, M2, M4, M5, E1, E2, E4, E7, E8
		Interação social para o desenvolvimento cognitivo	M6
		Professor como mediador	M1, M2, M3, M4, M5, E2
		Contexto social e cultural	M1, M4, E1, E2, E4, E7, E9
		Zona de desenvolvimento proximal	E8
Humanismo	Freire	Desvelamento de problemas socioculturais	M1, M4, E2
		Educação dialógica	M6, E2
		Luta social e política	M6
	Rogers	Contato com problemas práticos e reais	M1, M2, M4, M5, E2, E6
		Centrado no aluno	M1, M2, M4, M5
		Crescimento pessoal	E2, E4
		Autocrítica	E2, E5
		Autoaprendizagem	M3
		Aprendizagem significativa	E5

Fonte: Autores, 2024.

Cabe esclarecer que os indicadores observados (termos e conceitos chave), relacionados aos respectivos teóricos, não puderam ser explorados em detalhes neste documento. No entanto, para a obtenção de maiores informações sobre eles recomenda-se, aos interessados, a leitura das obras de Moreira (2019) e Lefrançois (2016).

Com base nos dados do Quadro 2 é possível observar que das seis metodologias identificadas, quatro se destacam por evidenciarem, cada uma delas, características relacionadas a quatro TA. Mais especificamente, M1 (Aprendizagem baseada em problemas) e M4 (*Design thinking*) indicam estarem associadas aos indicadores cognitivistas de Piaget, Vygotsky e Freire, bem como à teoria humanista de Rogers. Já a M2 (Aprendizagem orientada a projetos) e a M5 (Aprendizagem baseada em desafios), contemplam aspectos que podem ser associados às teorias de Ausubel, Piaget, Vygotsky e Rogers. Nota-se a convergência dessas quatro metodologias, para os pressupostos defendidos nas teorias de Piaget, Vygotsky e Rogers.

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Por outro lado, M6 (Aprendizagem em grupos e oficinas colaborativas) é a metodologia que está associada a menos TA, sendo identificadas possíveis associações apenas com indicadores de Vygotsky e Freire.

Ainda com base nas seis metodologias elencadas, observa-se que cinco delas envolvem indicadores das teorias defendidas por Piaget, Vygotsky e Rogers. Por sua vez, indicadores associados à teoria de Gowin figuram somente na M3 (Sala de aula invertida).

Quando se consideram as estratégias de ensino, os dados presentes no Quadro 2 revelam que E2 (Estudo de caso) é a estratégia mais adaptável às diferentes TA, figurando relacionada com indicadores de cinco delas, a saber, dos cognitivistas Bruner, Piaget, Vygotsky e dos humanistas Freire e Rogers. E a estratégia E3 (Co-criação) é menos contemplada no rol de indicadores, figurando em apenas um deles, relacionado à teoria de aprendizagem de Bruner.

Baseando-se nas nove estratégias listadas, é possível inferir ainda que os indicadores de Vygotsky são os mais presentes, fazendo com que este teórico esteja associado a seis estratégias. Por sua vez, Kelly e Freire aparecem relacionados, cada um deles, a uma única estratégia de ensino.

Em face dos estudos examinados, é fundamental destacar que a base teórica escolhida para a construção dessas metodologias e estratégias de ensino é apresentada somente no trabalho de Tejedor *et al.* (2018). Os autores, que destacam uma proposta multimétodos, explicitam que a M1 pode ser desenvolvida embasada em Vygotsky e Piaget. A E2 pode ter suporte psicológico e pedagógico nas teorias de Piaget, Vygotsky, Bruner e Ausubel. Já a E5 tem a possibilidade de contemplar a Pedagogia do Oprimido de Paulo Freire e a Teoria do Desenvolvimento Cognitivo de Jerome Bruner. Além desses, ressaltam as contribuições de outros autores não citados no presente trabalho, como William Heard Kilpatrick para a M2 e Ortega Ruiz para a E6.

Deste modo, as demais asserções feitas ao longo do texto são baseadas nas características implícitas de cada metodologia e estratégia que se assemelham em maior ou menor grau às teorias da aprendizagem.

Por fim, cinco estudos analisados mostram a possibilidade do uso de estratégias ou metodologias conjuntas com vistas a alcançar os objetivos de aprendizagem. Neste

caso, tem-se os trabalhos de: (1) Mcwhirter e Shealy (2020) que propuseram a junção do PBL com a sala de aula invertida; (2) Cottafava, Cavaglià e Corazza (2019), com a proposta do estudo de caso aliado à co-criação; (3) Rodríguez-Chueca *et al.* (2020), em que aspectos da sala de aula invertida foram aliados com a aprendizagem baseada em desafios; (4) Colmenares-Quintero *et al.* (2023), buscando aliar o *Design Thinking* com o PBL; e (5) Saitua-Iribar, Corral-Lage e Peña-Miguel (2020), desenvolvendo um projeto que relacionou as oficinas colaborativas com o *Design Thinking*.

4 CONCLUSÃO

Com a análise das principais metodologias e estratégias empregadas na educação para sustentabilidade no ensino da engenharia, confirma-se a urgência de adotar abordagens ativas de ensino, em que o aluno auxilia na construção do conhecimento. Especialmente quando se considera esse tema (isto é, ES), é necessário afastar-se dos formatos tradicionais comumente utilizados até hoje (desde a educação básica até o ensino superior), como a educação bancária, que promove apenas a memorização do conteúdo e enxerga os estudantes como recipientes de informação.

Tratando-se das questões secundárias propostas neste estudo, nota-se que as metodologias e estratégias mapeadas se encontram apoiadas em conceitos atrelados às TA cognitivistas e humanistas, mesmo que não se expresse diretamente a relação com as bases teóricas. Com exceção do trabalho de Tejedor *et al.* (2018), em que são citados os teóricos da aprendizagem que sustentam o desenvolvimento de cada proposta, os demais possuem uma associação implícita.

Dentre os teóricos apresentados por Moreira (2019), as proposições dos cognitivistas Piaget e Vygotsky são as que mais se relacionam com os estudos analisados. Os conceitos piagetianos mais visíveis foram a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem, bem como a construção do próprio conhecimento e o enfoque no trabalho prático e na situação prática. Já acerca da abordagem vygotskyana, observa-se a importância da interação social para o desenvolvimento cognitivo, o papel do professor como mediador, a relevância do contexto social e cultural e a ideia de Zona de Desenvolvimento Proximal.

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

As concepções da teoria humanista de Rogers também receberam destaque nos estudos mapeados, com maior visibilidade para a necessidade do contato com problemas reais e práticos para uma aprendizagem significativa, centrada no aluno, os processos de autoaprendizagem e autocrítica e a importância do crescimento pessoal do educando.

Mesmo com a preocupação dos pesquisadores em analisar o uso de metodologias para ES centradas no aluno, é importante destacar que a aprendizagem depende de outros fatores complexos, como o fomento a recursos e currículos que possibilitem a atuação do professor para a implementação da sustentabilidade em sala de aula.

É importante evidenciar ainda que o estudo possui a limitação de não apresentar com maior rigor a presença real dos teóricos da aprendizagem nos trabalhos analisados, na medida em que as teorias de aprendizagem ainda não são largamente utilizadas na sistematização de estudos acerca do ensino de engenharia. Deste modo, localizaram-se indícios que levam a crer que as metodologias e estratégias encontradas se enquadram melhor com uma ou outra teoria. Além disso, compreende-se que foi analisada uma porcentagem relativamente pequena de pesquisas científicas. Ainda com essas limitações, apresenta-se uma síntese relevante de metodologias e estratégias de ensino que têm a possibilidade de serem aplicadas no contexto educacional, para fomentar a educação para a sustentabilidade na formação dos futuros profissionais da engenharia, com propostas centradas no aluno e na participação ativa para a construção do conhecimento científico.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AL-MULLA, S.; ARI, I.; KOÇ, M. Social media for sustainability education: gaining knowledge and skills into actions for sustainable living. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 29, n. 5, p. 455–471, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13504509.2022.2036856>

ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P. Estratégias de ensinagem. In: ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P. (Orgs.). *Processos de ensinagem na universidade*. Pressupostos

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

para as estratégias de trabalho em aula. 3. ed. Joinville: Univille, 2004. p. 67-100.

ANDRADE FILHO, M. A. S. de *et al.* Metodologias ativas na avaliação do ensino superior: teorias, práticas e impactos. *Revista Ilustração*, v. 5, n. 9, p. 135-152, 2024. <https://doi.org/10.46550/ilustracao.v5i9.390>

ANTUNES, C. *Introdução à educação*. São Paulo: Paulus, 2014.

AYER, S. K.; MESSNER, J. I.; ANUMBA, C. J. Augmented Reality Gaming in Sustainable Design Education. *Journal of Architectural Engineering*, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 04015012, 2016. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000195](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000195)

BØRSEN, T. *et al.* Initiatives, experiences and best practices for teaching social and ecological responsibility in ethics education for science and engineering students. *European Journal of Engineering Education*, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 186–209, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1701632>

BUIL-FABREGÁ, M. *et al.* Flipped Classroom as an Active Learning Methodology in Sustainable Development Curricula. *Sustainability*, [s. l.], v. 11, n. 17, p. 4577, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11174577>

COLMENARES-QUINTERO, R. F. *et al.* Problem based learning and design thinking methodologies for teaching renewable energy in engineering programs: Implementation in a Colombian university context. *Cogent Engineering*, v. 10, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2164442>

COTTAFAVA, D.; CAVAGLIÀ, G.; CORAZZA, L. Education of sustainable development goals through students' active engagement. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 521–544, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-05-2018-0152>

CUNHA, M. B. de *et al.* Metodologias ativas: em busca de uma caracterização e definição. *Educação em Revista*, v. 40, p. e39442, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.3885>

D'ÁVILA, C. *Métodos e técnicas de ensino e aprendizagem para a Educação Superior*: cardápio pedagógico Salvador: EDUFBA, 2021. 125 p.

DUARTE, A J *et al.* Engineering Education for Sustainable Development: The European Project Semester Approach. *IEEE Transactions on Education*, [s. l.], v. 63, n. 2, p. 108–117, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TE.2019.2926944>

DUARTE, Abel J *et al.* Engineering Education for Sustainable Development: The European Project Semester Approach. *Ieee Transactions On Education*, v. 63, n. 2, SI, p. 108–117, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TE.2019.2926944>

EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO

DÜR, M.; KELLER, L. Research Collaboration of Austrian and Indian Teenagers in the Context of Education for Sustainable Development. *Sustainability*, [s. l.], v. 11, n. 18, p. 5094, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11185094>

FINI, E. H. *et al.* The impact of project-based learning on improving student learning outcomes of sustainability concepts in transportation engineering courses. *European journal of engineering education*, v. 43, n. 3, SI, p. 473–488, 2018. Disponível em <https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1393045>

FLEACA, B.; FLEACA, E.; MAIDUC, S. Framing Teaching for Sustainability in the Case of Business Engineering Education: Process-Centric Models and Good Practices. *Sustainability*, v. 15, n. 3, p. 2035, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15032035>

FONTANA, D. *Psicologia para professores*. 2 ed. São Paulo: Manole, 1991.

FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. 84. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2019.

GAO, M. D. *et al.* Application of Green Design and Manufacturing in Mechanical Engineering: Education, Scientific Research, and Practice. *Sustainability*, v. 14, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14010237>

GARCÍA-SEGURA, T. *et al.* Enhancing a Comprehensive View of the Infrastructure Life Cycle through Project-Based Learning. *Journal of Civil Engineering Education*, v. 149, n. 1, 2023. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.2643-9115.0000072](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000072)

GRAMATAKOS, A. L.; LAVAU, S. Informal learning for sustainability in higher education institutions. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 378–392, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2018-0177>

HAYASHI, V. T. *et al.* The Development of Sustainable Engineering with PjBL during the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 5, p. 4400, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph20054400>

HEDDEN, M. K. *et al.* Teaching sustainability using an active learning constructivist approach: Discipline-specific case studies in higher education. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 9, n. 8, 2017. Available at: <https://doi.org/10.3390/su9081320>

HIRSCH, J.; YOW, R.; WU, Y.-C. S. Teaching students to collaborate with communities: expanding engineering education to create a sustainable future. *Engineering Studies*, v. 15, n. 1, p. 30–49, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19378629.2023.2176767>

KHANDAKAR, A. *et al.* Case Study to Analyze the Impact of Multi-Course Project-Based Learning Approach on Education for Sustainable Development. *Sustainability*, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 480, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12020480>

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

KIOUPI, V.; VOULVOULIS, N. Education for Sustainable Development: A Systemic Framework for Connecting the SDGs to Educational Outcomes. *Sustainability*, [s. l.], v. 11, n. 21, p. 6104, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11216104>

KOPNINA, H. Circular economy and Cradle to Cradle in educational practice. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 119–134, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1943815X.2018.1471724>

LA ROSA, J. Introdução. In: LA ROSA (org.). *Psicologia e educação: o significado do aprender*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. p. 15-22.

LEAL FILHO, W.; SHIEL, C.; PAÇO, A. Implementing and operationalising integrative approaches to sustainability in higher education: the role of project-oriented learning. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 133, p. 126–135, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.079>

LEFRANÇOIS, G. R. *Teorias de aprendizagem: o que o professor disse*. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

LI, C.; ZHOU, H. Enhancing the Efficiency of Massive Online Learning by Integrating Intelligent Analysis into MOOCs with an Application to Education of Sustainability. *Sustainability*, v. 10, n. 2, 2018a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10020468>

LI, C.; ZHOU, H. Enhancing the Efficiency of Massive Online Learning by Integrating Intelligent Analysis into MOOCs with an Application to Education of Sustainability. *Sustainability*, v. 10, n. 2, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10020468>

LIBÂNEO, J. C. *Didática*. 2 ed. São Paulo: Cortez, 2013.

LOCATELLI, G. Teaching sustainable energy systems to engineering students. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJISD.2022.119233>

LOZANO, R.; BAUTISTA-PUIG, N.; BARREIRO-GEN, M. Developing a sustainability competences paradigm in Higher Education or a White Elephant? *Sustainable Development*, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sd.2286>

MARTÍNEZ CASANOVAS, M.; RUÍZ-MUNZÓN, N.; BUIL-FABREGÁ, M. Higher education: the best practices for fostering competences for sustainable development through the use of active learning methodologies. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 703–727, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-03-2021-0082>

MCWHIRTER, N.; SHEALY, T. Case-based flipped classroom approach to teach sustainable infrastructure and decision-making. *International Journal of Construction Education and Research*, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 3–23, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15578771.2018.1487892>

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. 2. ed. São Paulo: E.P.U., 2019, 242 p.

OLIVEIRA, V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Resolução de problemas abertos no ensino de física: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 3, p. 1-17, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180611172017000300502&lng=pt&tlng=pt.

OZIS, F. *et al.* Teaching sustainability: does style matter? *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 23, n. 8, p. 194–210, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-09-2021-0392>

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PRADO, A. M. *et al.* Simulations Versus Case Studies: Effectively Teaching the Premises of Sustainable Development in the Classroom. *Journal of Business Ethics*, [s. l.], v. 161, n. 2, p. 303–327, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10551-019-04217-5>

RODRÍGUEZ-CHUECA, J. *et al.* Understanding sustainability and the circular economy through flipped classroom and challenge-based learning: an innovative experience in engineering education in Spain. *Environmental Education Research*, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 238–252, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13504622.2019.1705965>

RONAGHI, M. H. The effect of virtual reality technology and education on sustainable behavior: a comparative quasi-experimental study. *Interactive Technology and Smart Education*, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ITSE-02-2022-0025>

SAITUA-IRIBAR, A.; CORRAL-LAGE, J.; PEÑA-MIGUEL, N. Improving Knowledge about the Sustainable Development Goals through a Collaborative Learning Methodology and Serious Game. *Sustainability*, [s. l.], v. 12, n. 15, p. 6169, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12156169>

SCURATI, G. W. *et al.* Sustainability awareness in engineering design through serious gaming. *Design Science*, [s. l.], v. 8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/dsj.2022.9>

SHARMA, B. *et al.* Evaluation of teaching approach and student learning in a multidisciplinary sustainable engineering course. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 142, p. 4032–4040, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.046>

**EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS ENGENHARIAS:
POSSIBILIDADES DE METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

SILVA, D. A. L. *et al.* Life cycle assessment teaching innovation: experiences from a Brazilian higher education institution. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 24, n. 2, p. 449–461, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-08-2021-0357>

TAIMUR, S.; ONUKI, M. Design thinking as digital transformative pedagogy in higher sustainability education: Cases from Japan and Germany. *International Journal of Educational Research*, [s. l.], v. 114, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101994>

TEJEDOR, G. *et al.* Didactic strategies to promote competencies in sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 11, n. 7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11072086>

WHALEN, K. A. *et al.* ‘All they do is win’: Lessons learned from use of a serious game for Circular Economy education. *Resources, Conservation and Recycling*, [s. l.], v. 135, p. 335–345, 2018. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.021>

ZARPELON, E.; RESENDE, L. M. Teorias da aprendizagem em publicações na área de educação em engenharia: um mapeamento com foco na disciplina de cálculo I. *Educação em Revista*, v. 36, p. e210405, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-4698210405>

Autor correspondente:

Larissa Aparecida Wachholz

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

R. Doutor Washington Subtil Chueire, 330 – Jardim Carvalho.

Porta Grassa/PR, Brasil. CEP 84017-220

larissawachholz@hotmail.com

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença Creative Commons.

