

ARTIGO

## AS VISÕES GLOBAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS NO ENSINO DA SUSTENTABILIDADE NA ENGENHARIA

**ADRIANO INEIA<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6448-1411>  
<adri.ano.ineia@hotmail.com>

**ROGÉRIO CORRÊA TURCHETTI<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5242-5057>  
<turchetti@redes.ufsm.com>

**WALTER PRIESNITZ FILHO<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8999-4843>  
<walter@redes.ufsm.com>

**ANGELA ISABEL DOS SANTOS DULLIUS<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6590-1112>  
<angela.dullius@ufsm.br>

**RICARDO MACHADO ELLEN SOHN<sup>2</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6496-013X>  
<ricardoellensohn@unipampa.edu.br>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Caçapava do Sul, RS, Brasil.

**RESUMO:** A finalidade deste estudo é mapear a atual situação das pesquisas no ensino de engenharia sob a perspectiva da sustentabilidade, os pacotes de bibliometrix e biblioshiny foram empregados para realizar a mineração de dados e análise quantitativa de publicações nessa área do conhecimento entre 2012 a 2022 no banco de dados da *Web of Science*. Os resultados demonstraram que nos últimos 10 anos, o número de artigos sobre o ensino de sustentabilidade na engenharia aumentou. O aumento foi gradativo e pode ser divididas em três etapas, entre 2012 e 2016 as publicações oscilaram de 130 a 150, de 2017 a 2019 as publicações passaram de 150 a 190 e de 2020 a 2021 superaram os 200 artigos. Os principais países e regiões em termos de desenvolvimento de pesquisas na área de ensino de sustentabilidade na engenharia são os Estados Unidos, Espanha, China, Austrália, Reino Unido, Alemanha, Canadá e Itália, além de serem os países importantes para a cooperação internacional nessa área. Desenvolvimento sustentável, educação em engenharia, estudantes, educação, currículo, ensino e sustentabilidade foram as palavras-chaves mais citadas nessa área nos últimos 10 anos. Dentro desse campo despontam como temas de pesquisas o emprego das metodologias ativas, desenvolvimento sustentável, boas práticas pedagógicas e de sustentabilidade, além da construção de competências e habilidades. O ensino de sustentabilidade na engenharia é uma temática relativamente nova, entretanto, devido a urgência do tema muitos estudos foram desenvolvidos e muitos outros estão se desdobrando, todavia, a complexidade do tema não esgota as lacunas do assunto.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento sustentável, Ensino de sustentabilidade na engenharia. Evolução do ensino de engenharia, Sustentabilidade.

## GLOBAL VISIONS AND FUTURE PERSPECTIVES IN TEACHING SUSTAINABILITY IN ENGINEERING

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to map the current status of research in engineering education from the perspective of sustainability, bibliometrix and biblioshiny packages were employed to perform data mining and quantitative analysis of publications in this area of knowledge from 2012 to 2022 in the Web of Science database. The results showed that in the last 10 years, the number of articles on teaching sustainability in engineering has increased. The increase was gradual and can be divided into three stages, between 2012 and 2016 the publications ranged from 130 to 150, from 2017 to 2019 the publications went from 150 to 190 and from 2020 to 2021 it exceeded 200 articles. The top countries in terms of research development in the area of sustainability education in engineering are the United States, Spain, China, Australia, the United Kingdom, Germany, Canada, and Italy, as well as being the most important countries for international cooperation in this area. Sustainable development, engineering education, students, education, curriculum, teaching and sustainability were the most frequently mentioned keywords in this field in the last 10 years. Within this field, the use of active methodologies, sustainable development, good pedagogical and sustainability practices, and the construction of competencies and skills are emerging as research topics. The teaching of sustainability in engineering is a relatively new theme, however, due to the urgency of the subject many studies have been developed and many others are unfolding, however, the complexity of the theme does not exhaust the gaps in the subject

**Keywords:** Sustainable development, Teaching sustainability in engineering. Evolution of engineering education, Sustainability.

## VISIONES GLOBALES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO EN LA ENSEÑANZA DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA INGENIERÍA

**RESUMEN:** El propósito de este estudio es mapear el estado actual de la investigación en educación en ingeniería desde la perspectiva de la sostenibilidad, se emplearon los paquetes bibliometrix y biblioshiny para realizar la minería de datos y el análisis cuantitativo de las publicaciones en esta área de conocimiento entre 2012 a 2022 en la base de datos Web of Science. Los resultados mostraron que en los últimos 10 años ha aumentado el número de artículos sobre la enseñanza de la sostenibilidad en la ingeniería. El aumento fue gradual y se puede dividir en tres etapas, entre 2012 y 2016 las publicaciones oscilaron entre 130 y 150, de 2017 a 2019 las publicaciones pasaron de 150 a 190 y de 2020 a 2021 se superaron los 200 artículos. Los principales países en cuanto al desarrollo de la investigación en el ámbito de la educación para la sostenibilidad en la ingeniería son Estados Unidos, España, China, Australia, Reino Unido, Alemania, Canadá e Italia, además de ser los países más importantes para la cooperación internacional en este ámbito. Desarrollo sostenible, enseñanza de la ingeniería, estudiantes, educación, plan de estudios, enseñanza y sostenibilidad fueron las palabras clave más citadas en este ámbito en los últimos 10 años. Dentro de este campo, el uso de metodologías activas, el desarrollo sostenible, las buenas prácticas pedagógicas y de sostenibilidad, así como la construcción de competencias y habilidades, surgen como temas de investigación. La enseñanza de la sostenibilidad en la ingeniería es un tema relativamente nuevo, sin embargo, debido a la urgencia del tema se han desarrollado muchos estudios y otros tantos se están desarrollando, sin embargo, la complejidad del tema no agota las lagunas del mismo.

**Palabras clave:** Desarrollo sostenible, Enseñanza de la sostenibilidad en la ingeniería. Evolución de la enseñanza de la ingeniería, Sostenibilidad.

## INTRODUÇÃO

O exercício do profissional de engenharia deve evoluir ao passo dos avanços da sociedade, visando proporcionar uma resposta compatível às necessidades da humanidade. Dessa forma, o ensino em engenharia deve se adaptar para contemplar essa demanda? Atualmente, a nova era da economia baseada no conhecimento, somada à globalização, exige uma competitividade de alto nível. Portanto, o sistema educacional deve oferecer uma formação que esteja de acordo com esses requisitos, ou seja, o currículo deve ser flexível e centrado no desenvolvimento das competências e habilidades dos estudantes, dentre essas podemos citar o aprender a aprender, trabalho em equipe, pensamento sistêmico, pensamento crítico e entre outros (SUNTHONKANOKPONG, 2011).

O ensino de engenharia através da lente holocênica perde relevância e fomenta a necessidade de uma educação antropocênica e mais integrada (LEICHENKO e O'BRIEN, 2020). Pois, a atuação profissional do engenheiro deve ser contemporânea e dotada de resiliência, cidadania e atuação sob a ótica da sustentabilidade (SEGALÀS; FERRER-BALAS; MULDER, 2010; SUNTHONKANOKPONG, 2010; QUELHAS ET AL., 2019).

Atualmente, as Instituições de Ensino Superior perceberam que a mudança deve ser integrada e centrada na formação do estudante, as melhorias não devem ser sazonais, mas permanentes, principalmente em relação a reestruturação curricular, modernização de laboratórios, entre outros. Essas melhorias devem vir associadas a um planejamento didático-pedagógico bem pensado e comprometido com a formação dos estudantes (QUELHAS et al., 2019).

Os estudantes devem ser estimulados a construir seu conhecimento de forma assertiva e reflexiva. Pois, devem compatibilizar as bases teóricas à atuação prática comprometida com o desenvolvimento sustentável. Portanto, a formação desses profissionais deve ser respaldada por questões éticas, responsabilidade social, cidadania e provedor de soluções sociais (YANG; SUN; LIU, 2017).

Artigos de revisões sistemáticas e bibliométricas são amplamente empregadas para a identificação de tendências em pesquisas. Portanto, o estudo tem por finalidade delinear a evolução do ensino de engenharia e suas perspectivas futuras, além de esclarecer tendências e até mesmo novidades das variáveis objetos de estudo (Yang; Sun; Liu, 2017). A estratégia de pesquisa deste estudo se dá por intermédio de uma bibliometria especializada com ênfase na evolução do ensino de engenharia. O pano de fundo desse artigo é identificar os principais elementos e avanços conquistados na última década e as principais lacunas a serem desdobradas em estudos futuros.

## REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A engenharia pode desempenhar papel de destaque em seu próprio futuro? Como os engenheiros podem compatibilizar o desenvolvimento sustentável com as demandas da sociedade? Como os futuros engenheiros podem ser formados capazes de promover soluções aos problemas oriundos da globalização sem comprometer o bem-estar da sociedade? A engenharia será vista como uma área do conhecimento que forma cidadãos politizados, responsáveis socioambientalmente e provedores de soluções mais criativas e sustentáveis?

Diante dessas perguntas, uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) torna-se relevante por se tratar de uma investigação focada que visa a sintetização de evidências e correlações do tema. A base de dados utilizada neste estudo foi a *Web of Science*. Portanto, essa RSL tem como objetivo apresentar uma avaliação criteriosa do ensino de engenharia sob a ótica da sustentabilidade.

Devido a complexidade na análise das particularidades das áreas do conhecimento, isso demandou a concepção de diversas revisões sistemáticas. Dentre essas classificações de revisões sistemáticas temos revisões sistemáticas com meta-análise, revisões sistemáticas narrativas; e revisões sistemáticas com meta-síntese (SIDDAWAY; WOOD; HEDGES, 2019).

Nesta RSL, empregamos a revisão narrativa, pois ela tem a potencialidade de analisar diversas metodologias, ou diferentes conceituações teóricas. As revisões narrativas sintetizam resultados de estudos quantitativos individuais sem referência estatística significativa. Essa abordagem permite compreender a associação de diversos estudos na construção de novas teorias. Além disso, essa categoria

de revisão permite a descrição histórica do desenvolvimento da teoria (SIDDAWAY; WOOD; HEDGES, 2019).

Todavia, os pesquisadores cada vez mais têm buscado a construção de revisão da literatura sistemática mais integrada, tanto aos dados quantitativos quanto aos qualitativos. Essa investigação mista, ganha relevância devido a carência que os dados quantitativos apresentam na justificativa de seus resultados, portanto, os qualitativos complementam e auxiliam na compreensão dos resultados. Devido a complexidade da conjuntura atual, esse posicionamento científico mais cooperativo e integrado se torna um método muito assertivo e importante para o desenvolvimento da ciência (SCHWANDT, 2007).

Posteriormente à escolha da revisão sistemática narrativa adotou-se a revisão mista sequencial explanatória. Nesta revisão foca-se na medição dos efeitos de ações, intervenções ou programas e busca-se explicar a diferença em seus efeitos. Nessa modalidade ocorre a integração entre as etapas quantitativa e qualitativa, fornecendo subsídios para uma síntese qualitativa, além de proporcionar compreensão e justificativa para os achados nas duas etapas (SCHWANDT, 2007; CRESWELL E CLARK, 2011; GALVÃO, PLUYE E RICARTE, 2017).

Uma ferramenta que foi utilizada foi a Mixed Methods Appraisal Tool. Trata-se de uma lista de questões norteadoras que ajuda a verificar e validar a revisão sistemática, refletindo os resultados obtidos e a sua qualidade. As questões utilizadas nessa pesquisa foram extraídas do trabalho de Galvão, Pluye e Ricarte (2017), descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Questões utilizadas da Mixed Methods Appraisal Tool

Nessa ferramenta existem até 40 itens, para esse estudo foram adotadas as seguintes questões:
O estudo possui uma questão qualitativa e outra quantitativa, ou uma questão mista explícita?
Os métodos mistos são relevantes para endereçar as questões e os objetivos qualitativos e quantitativos do estudo?
A integração dos dados qualitativos e quantitativos é relevante para endereçar os objetivos ou questões do estudo?
O estudo apresenta as limitações associadas com essa integração?
O estudo apresenta as divergências dos dados ou dos resultados qualitativos e quantitativos?
Nota: Esse método consiste em 40 itens para diversas finalidades, entretanto, para esse trabalho foram selecionadas essas 5 por abrangerem tanto os dados qualitativos quanto os quantitativos.

Fonte: Dos autores (2022).

## Planejamento

A etapa de Planejamento foi baseada no artigo de Sampaio e Mancini (2007), e de Galvão, Pluye e Ricarte (2017). Na Figura 1, temos as etapas do planejamento da RSL.

A revisão sistemática focou em analisar o ensino de sustentabilidade na engenharia? Os artigos avaliados são de relevância e com ênfase no objeto de estudo? Os resultados da revisão criaram novas interconexões, correlações e avanços? A integração de componentes qualitativos e quantitativos são adequadamente interpretados? Os componentes utilizados nessa pesquisa aderem aos critérios de qualidade de cada método envolvido? Estudos futuros ou questões que ficaram com lacunas?

Figura 1 - Delineamento das etapas da RSL

## Etapas do Planejamento da RSL



Fonte: Dos autores (2022).

### Fonte de dados

A *Web of Science* é uma das mais relevantes e abrangentes bases de dados do mundo. A plataforma contém mais de 11.000 periódicos acadêmicos reconhecidos e de alto impacto nas diversas áreas do conhecimento. Este artigo focou em utilizar o banco de dados da *Web of Science* como fonte de mineração de dados. Essa base de dados rastreia cerca de 1,9 bilhões de referências em 171 milhões de registros. Além disso, mais de 9.000 instituições acadêmicas e pesquisadores depositam suas informações e avanços de suas pesquisas nesta base de dados.

### Método da pesquisa

A estratégia do método da pesquisa de análise bibliométrica possui cinco etapas padrão, sendo elas o (I) delineamento do estudo, (II) coleta de dados, (III) análise de dados, (IV) visualização de dados e (V) interpretação (ZUPIC e CATER, 2014). O software empregado foi o Linguagem R, que possui uma gama de pacotes que processam os dados, bem como calculam indicadores bibliométricos como o índice (h) foi introduzido por Jorge Hirsh em 2005, com ele é possível verificar a visibilidade que os autores e artigos apresentam a partir das citações, tendo a finalidade de quantificar o desempenho, qualidade e produtividade dos pesquisadores. Já o índice (g) mede o desempenho de citações de um conjunto de artigos, conferindo maior relevância aos artigos altamente citados e entre outras funções (XIE et al., 2020). Na Figura 2 temos o delineamento do fluxo de trabalho e mapeamento científico.

Figura 2 - Bibliometrix e o fluxo de trabalho de mapeamento científico recomendado.



Fonte: Adaptado de Xie et al., (2020).

O software bibliometrix é um pacote bibliométrico desenvolvido pelo professor Massimo Aria em 2017, tem como base a linguagem R. Sua versatilidade se dá desde a exibição visual, análise estatística, processamento de dados, análise de cocitação, análise de acoplamento, análise de palavras e análise de cluster em bancos de dados (Xie et al., 2020; Aria e Cuccurullo, 2017). Massimo Aria também desenvolveu o biblioshiny que permite que os usuários realizem análises bibliométricas e visuais em uma interface web interativa.

As etapas de instalação e operação de *bibliometrix* e *biblioshiny* são as seguintes:

(1) Baixe e instale o *software* de linguagem R e a plataforma RStudio. (URL: <https://cran.r-project.org/> e <http://www.rstudio.com>);

(2) No RStudio digite o comando `<install.packages ("Bibliometrix")>` na janela da interface bibliometrix para concluir a instalação.

(3) Digite o comando `<Library (Bibliometrix)>` para abrir os programas bibliometrix e biblioshiny.

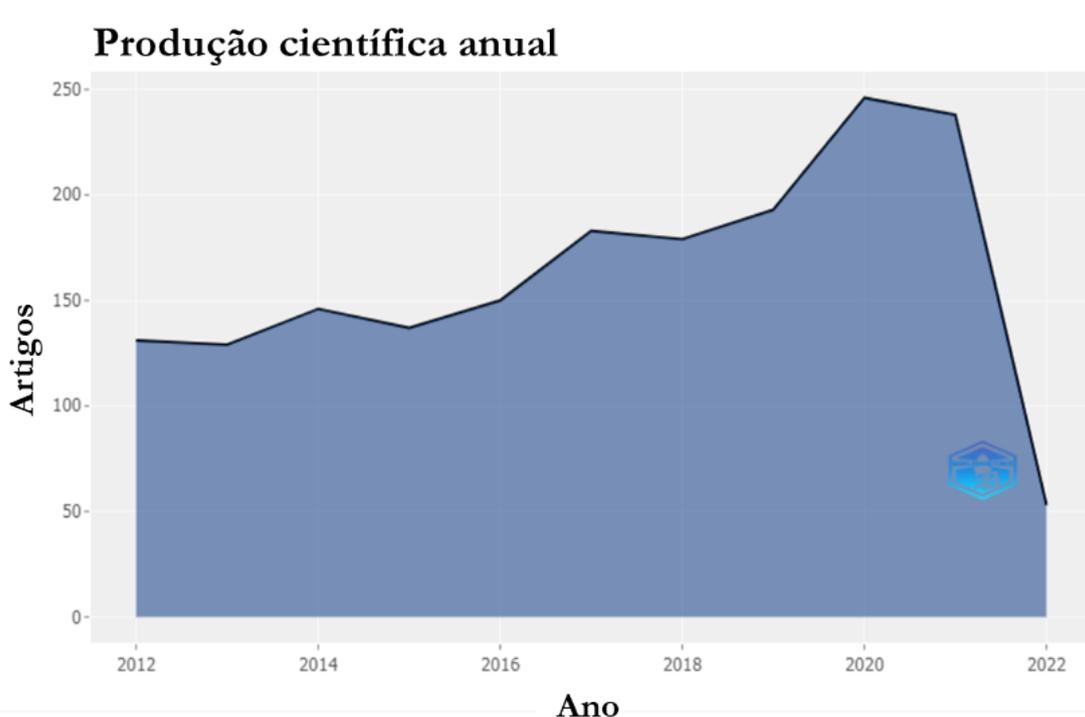
Neste artigo, os pacotes bibliometrix e biblioshiny são empregados na análise e visualização da pesquisa e tendências de pesquisa na área do ensino de engenharia, sob a perspectiva da sustentabilidade, a partir de documentos anuais, poder de pesquisa (autor, periódico e entre outros). A análise da situação desse campo do conhecimento parte de múltiplas perspectivas como citação histórica, evolução do tema e análise de acoplamento, fornecendo referências e sugestões para futuras pesquisas.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

### Distribuição de documentos anuais

A análise da evolução da produção científica anual pode ser acompanhada através de séries temporais, ou diferentes etapas. Essa distribuição anual de documentos reflete a situação geral e as futuras tendências da pesquisa. De 2012 a 2022, apesar de pequenas flutuações no número de artigos publicados, a tendência geral continuou a crescer, ver o comportamento na Figura 3.

Figura 3 - Número de artigos citados anualmente

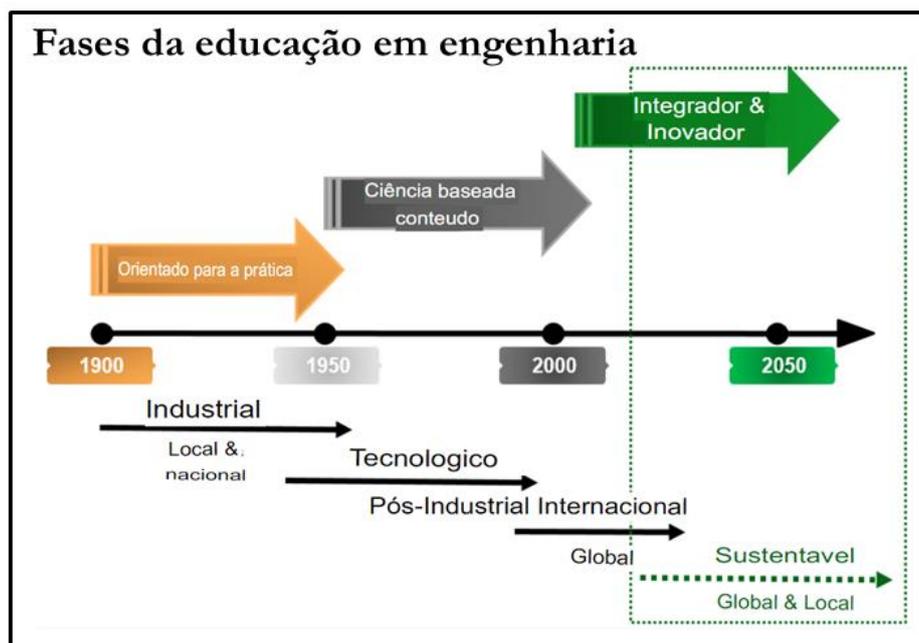


Fonte: Dos autores (2022).

O acordo entre líderes mundiais da Agenda 2030, firmado em 2015, contribuiu para o aumento significativo das publicações referente ao desenvolvimento sustentável. Diante disso, os programas de pós-graduação, linhas de pesquisa e instituições de ensino superior focaram em desenvolver novos estudos nessa temática (VALDES et al. 2018).

Nessa perspectiva, a engenharia, de forma geral, teve que se adaptar a essa nova realidade. A tendência é de que novas pesquisas e estudos sejam efetuados nesta área do conhecimento, devido às fases conforme demonstrado por Sunthonkanokpong (2011) na Figura 4. A partir de 2020 a 2050 estaremos imersos na era da sustentabilidade e as soluções de engenharia estarão voltadas às soluções globais e locais.

Figura 4 - estrutura conceitual de futuras visões globais que orientam o ensino de engenharia



Fonte: Adaptado de Sunthonkanokpong (2011).

Na Figura 4 é possível observar que entre 1900 a 1950, o ensino de engenharia era orientado para a prática, ou seja, voltada para a produção industrial. A atuação do profissional em engenharia, nessa época, foi focada em escala local e nacional. De 1950 a 2000, com os avanços tecnológicos, a escala de soluções passa à nível internacional. A partir de 2000 a atuação do engenheiro adentra na era do pós-industrial, da qual as demandas da engenharia se tornam de escala global. E de 2020 a 2050 temos a era da sustentabilidade devido aos efeitos colaterais do aquecimento global e altos níveis de impactos ambientais. Portanto, a atuação do engenheiro, com postura sustentável no desenvolvimento de soluções mais pensadas, limpas e com responsabilidade socioambiental ganha relevância e evidência no mercado laboral.

Entre 2012 a 2016, a produção científica de artigos na área de ensino de sustentabilidade em engenharia apresentou um relevante volume de publicações. De 2017 a 2019, houve um aumento gradual no número de documentos publicados nesse período, isso pode ter ocorrido devido às necessidades de estudos para o desenvolvimento de ações que contribuam para a sustentabilidade, já que os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável têm metas bem audaciosas. Já de 2020 a 2021, mais especificamente dentro da era da sustentabilidade aumenta o número de estudos publicados, uma possível justificativa é a necessidade de se formar engenheiros aptos a atuação profissional mais sustentável, sendo condizente com a era atual. Em 2022 o número ainda é baixo devido a análise ter sido feita no primeiro trimestre, entretanto, a tendência é de que se equipare a 2020 e 2021 ou supere esses anos em publicações.

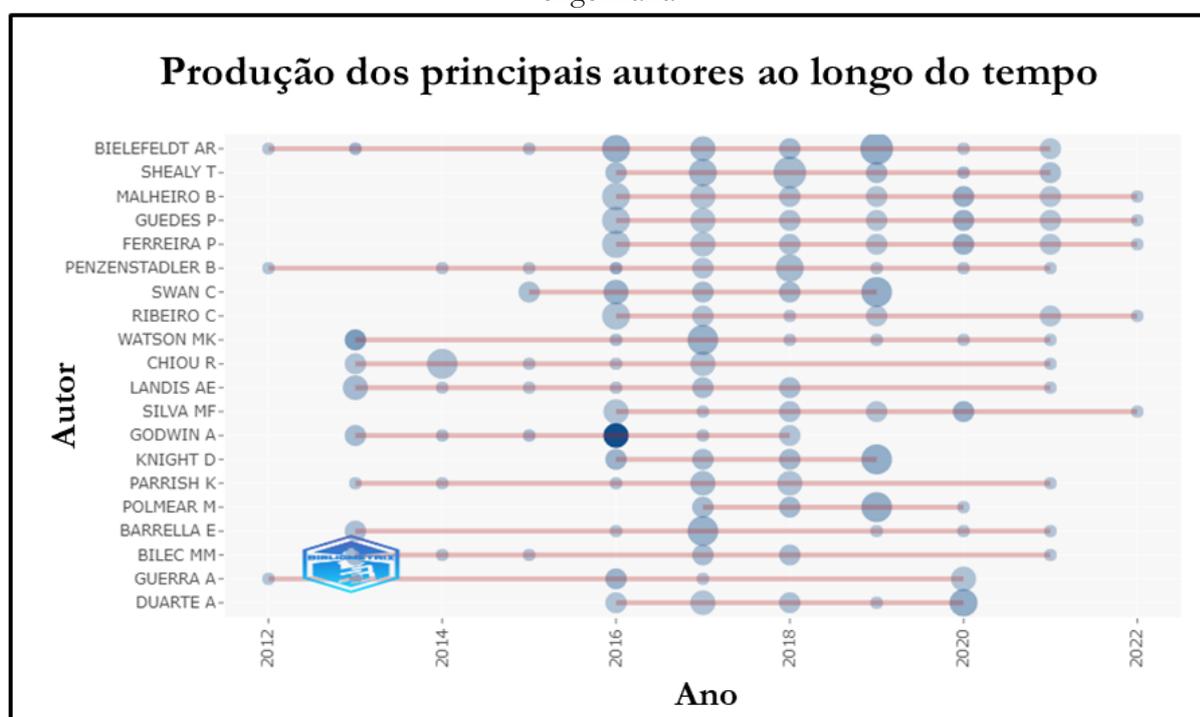
## Distribuição de documentos anuais

A análise deste estudo compreendeu 1785 artigos dos mais diversos autores e nacionalidades. Do ponto de vista do número de artigos publicados (Figura 5), sendo os cinco principais Bielefeldt A.E., Shealy T., Malheiro B., Guedes P. e Ferreira P., com 21, 17, 16, 15 e 14 artigos respectivamente. Na área de ensino de sustentabilidade na engenharia, Bielefeldt se destaca devido ao volume de artigos publicados e ao seu índice "h" de 8.

Com publicações de alta relevância e qualidade na área, Bielefeldt A.E. é uma referência e muito influente no assunto de sustentabilidade na engenharia. Na Figura 5, a dimensão do círculo representa o número de documentos e a tonalidade da cor representa a quantidade de citações. Bielefeldt A.E. tem constância de publicações na área desde 2012, sua frequência de citações médias aumenta consideravelmente a partir de 2016.

Os resultados demonstram que a partir de 2016 todos os autores têm um acréscimo na frequência de citações. Nesse mesmo ano, Godwin A. é o autor mais citado. De 2016 a 2022 os autores Shealy T., Malheiro B., Guedes P. e Ferreira P. apresentam números de estudos produzidos e citações bastante similares.

Figura 5 - Produção dos autores ao longo do tempo no campo do ensino de sustentabilidade na engenharia.



Fonte: Dos autores (2022).

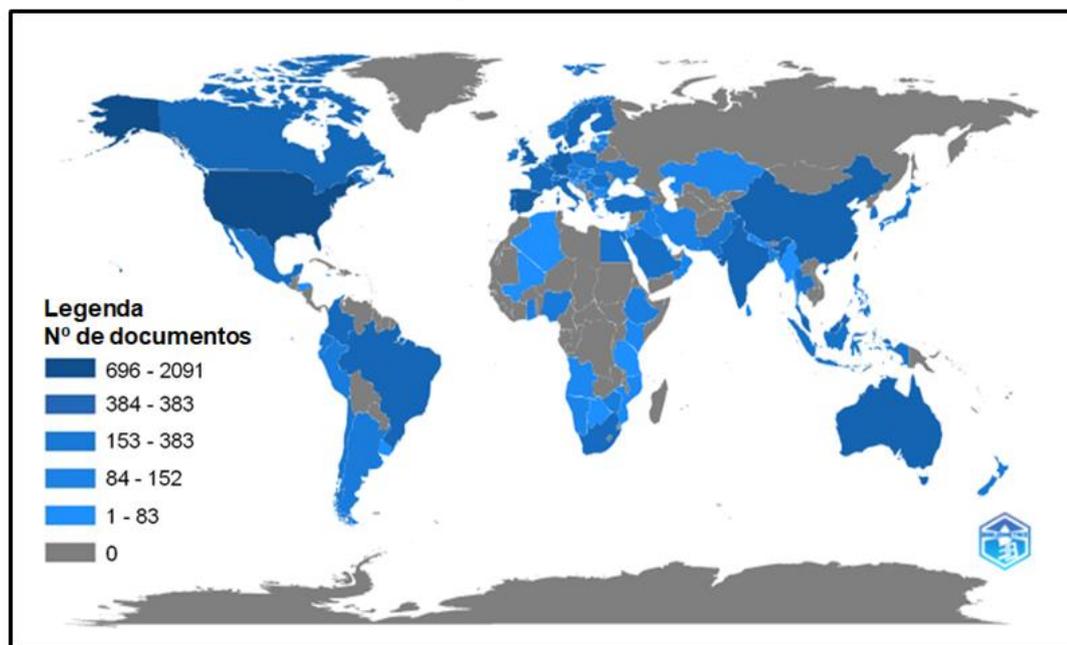
## Análise das características de distribuição dos principais países/regiões de pesquisa

A publicação de trabalhos ao redor do mundo pode ser interpretada como relevante e importante para as diferentes nacionalidades no campo do ensino de sustentabilidade na engenharia. Como pode ser visto na Figura 6, temos os 20 principais países e regiões, sendo eles 12 da Europa (Espanha, Reino Unido, Alemanha, Itália, Países Baixos, Dinamarca, Suécia, Romênia, Finlândia, Polônia, Suíça, Portugal e Lituânia), três asiáticos (China, Cingapura e Arábia Saudita), da América do Norte temos dois representantes (Estados Unidos e Canadá) e um da América do Sul (Brasil).

Os cinco principais países em volume de documentos, em sequência decrescente, são Estados Unidos, Espanha, China, Austrália e Reino Unido. A Figura 6 demonstra que as publicações estão concentradas principalmente em países desenvolvidos, como na América do Norte e maior parte dos países e regiões indicados na Europa, essa evidência reforça que esses países lideram no campo da pesquisa sobre o ensino de sustentabilidade na engenharia.

Teoricamente, o ensino de sustentabilidade em engenharia tem maior impacto em países em desenvolvimento, devido a falta de infraestrutura básica e vulnerabilidade social, entretanto são os países desenvolvidos que encabeçam as pesquisas. Isso está ligado a diversos fatores, entre eles a escassez de recursos financeiros para pesquisas, além de baixo nível de ciência e tecnologia nesses países e regiões (CAVALCANTE e FAGUNDES, 2007; SOUZA et al. 2020)

Figura 6 - Distribuição da produção científica por país no campo do ensino de sustentabilidade na engenharia.



Fonte: Dos autores (2022).

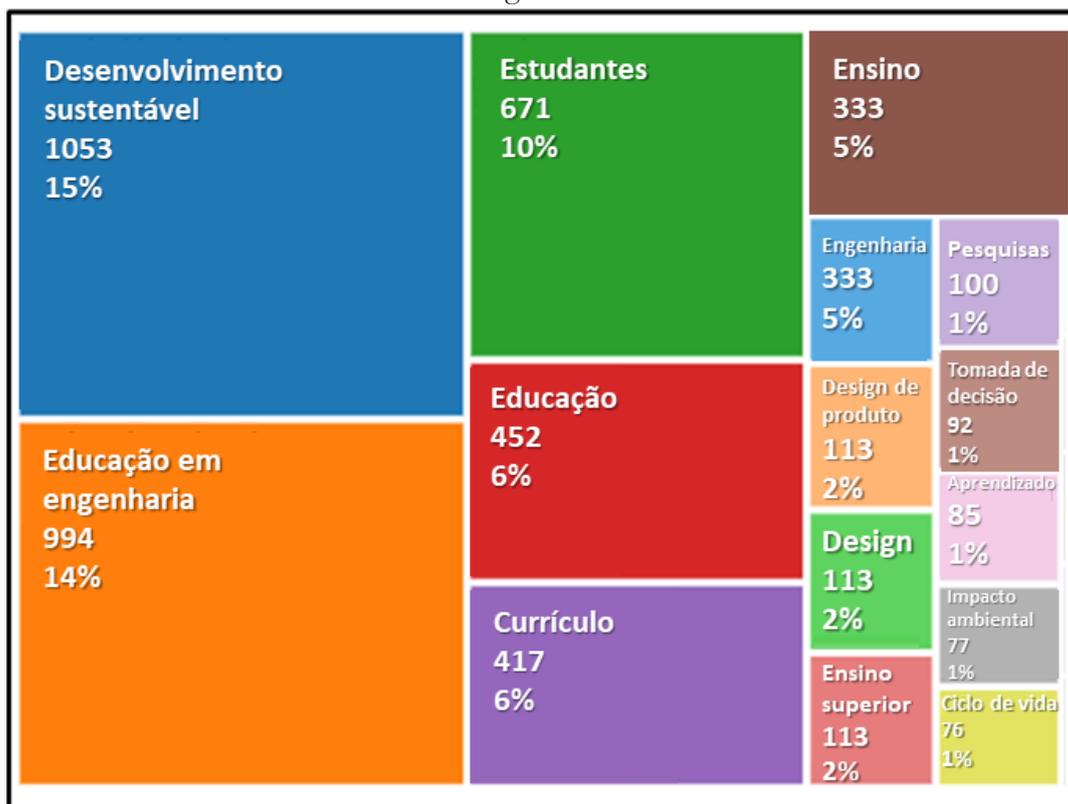
## ANÁLISE DAS PALAVRAS-CHAVES

### Análise de palavras-chave e suas frequências

As palavras-chaves são parte fundamental de um artigo científico, pois são a sumarização e o refinamento do núcleo do artigo. O cruzamento da análise de palavras-chaves com a de agrupamento, somada à análise de correspondência múltipla no artigo, reflete a direção da redação do artigo na área do ensino de sustentabilidade na engenharia de forma mais robusta e concisa (XIE et al., 2020).

A mineração de dados e a análise estatística das palavras-chaves de alta frequência em publicações podem ser compiladas e analisadas pelo pacote de software biblioshiny. As palavras-chaves com maior frequência de palavras maiores ou igual a 10 são selecionadas e plotadas como um Word TreeMap, conforme Figura 7. As palavras-chaves mais frequentes são desenvolvimento sustentável, educação em engenharia, estudantes, educação e currículo, com 15%, 14%, 10%, 6% e 6% respectivamente.

Figura 7 - *Word TreeMap* de palavras-chave de alta frequência na área do ensino de sustentabilidade na engenharia



Fonte: Dos autores (2022).

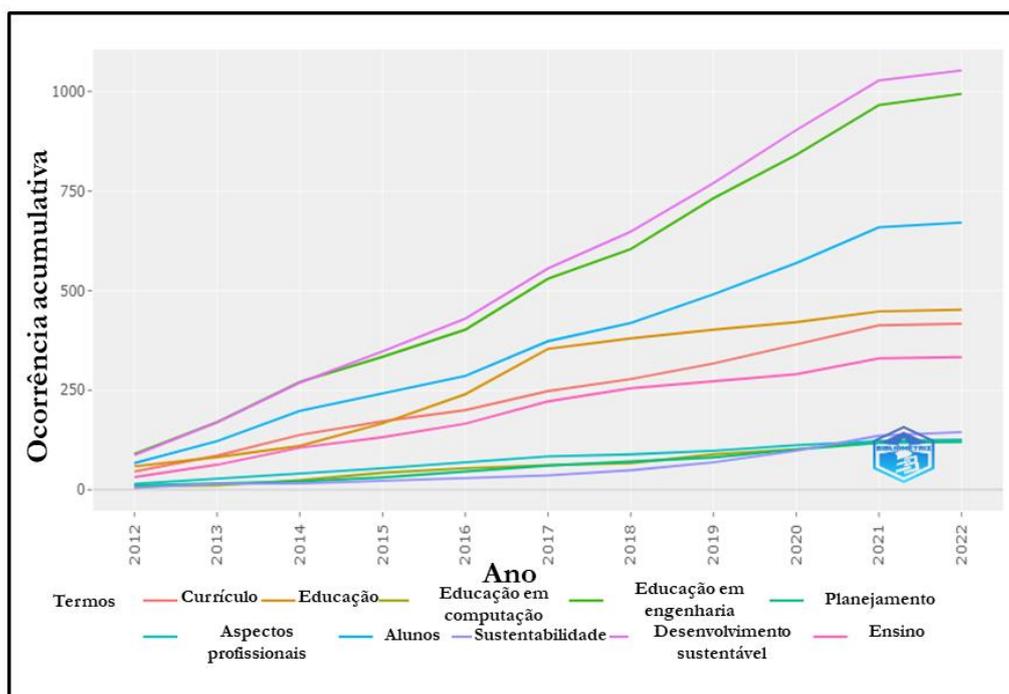
Segundo Staniski e Kalilute (2016) o ensino de sustentabilidade deve estar no centro de políticas educacionais devido a sua emergência. O conceito de desenvolvimento sustentável permite que o novo conceito de responsabilidade na engenharia auxilie na construção de uma atuação profissional mais ética, dotada de valores e compatível com as demandas sociais, econômicas e ambientais (PALACIN-SILVA; SEFFAH; PORRAS, 2018). O caminho é a (re)construção de um currículo focado no estudante da engenharia e articulado com as novas demandas de um ensino que estimule a promoção de soluções mais sustentáveis e equitativas.

Essa (re)construção é um processo abrangente e está intrinsecamente ligado a temas complexos como questões de políticas públicas, distribuição de renda, impactos ambientais, globalização, vulnerabilidade social, entre outros. Na Figura 8, temos a evolução das palavras-chaves no período dos últimos 10 anos. Nítido foi o crescimento das palavras-chaves a partir de 2015, isso pode ter sido impulsionado devido a adoção da Agenda 2030 da ONU em setembro do mesmo ano.

As pesquisas sobre desenvolvimento sustentável e educação em engenharia despontam devido aos diversos obstáculos. Dentro dessas dificuldades temos a falta de infraestrutura e recursos adequados ao ensino de sustentabilidade. Um aspecto que também ganha relevância é a dissonância cognitiva dos componentes curriculares, que não se integram ou complementam e não estão centradas na formação do estudante (SCHNEIDER; LEYDENS; LUCENA, 2008; SHIELDS, VERGA; ANDREA BLENGINI, 2014; ZABANIOTOU; BOUKAMEL; TSIROGIANNI, 2021).

Diante da demanda mundial por crescimento econômico compatível ao desenvolvimento sustentável, a Agenda 2030 se torna um guia para os governos mundiais balizarem suas ações e políticas públicas em prol do bem comum, promoção da justiça social e equitatividade. O bem-estar da população mundial deve estar no centro das agendas políticas de cada nação para que os mais vulneráveis tenham oportunidade e sua qualidade de vida assegurada.

Figura 8 - Evolução das palavras-chaves na área do ensino de sustentabilidade na engenharia



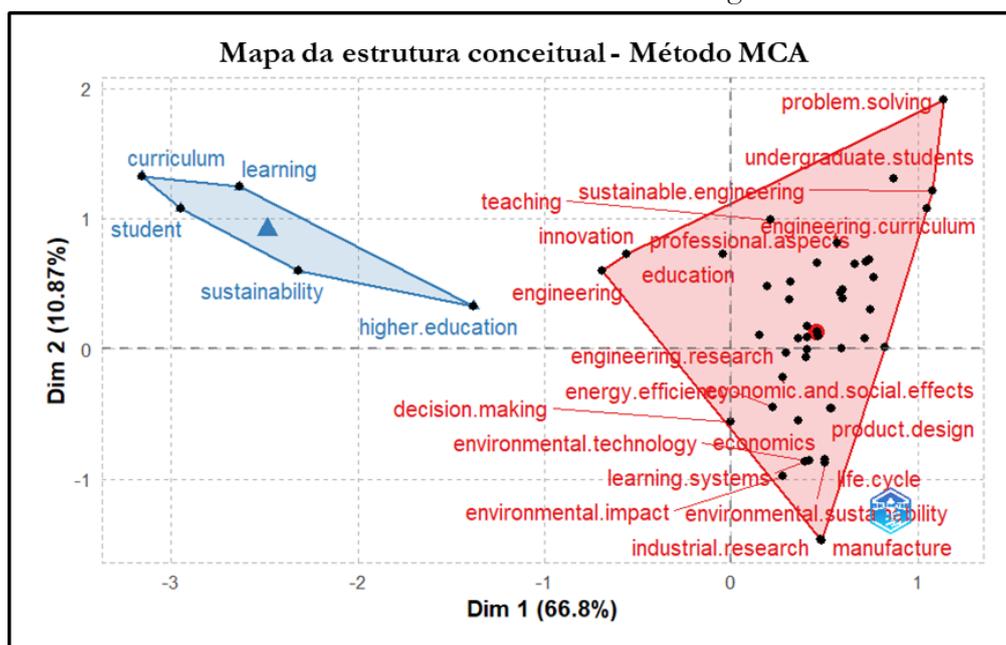
Fonte: Dos autores (2022).

### Análise de cluster e análise de correspondência múltipla de palavras-chave de alta frequência

Na bibliometria a análise de agrupamento é baseada na frequência de duas palavras de ocorrência simultânea, usando métodos estatísticos para simplificar a relação da rede de palavras-chaves em grupos relativamente menores (Ding, 2011; Xie et al., 2020). Nesse artigo, foi empregado a análise de correspondência múltipla (MCA) que se trata de uma abordagem sociológica. Essa ferramenta compacta dados grandes em variáveis em um espaço de baixa dimensão para formar um gráfico bidimensional ou até mesmo tridimensional que usa distância do plano para refletir semelhanças entre os termos. As palavras-chaves mais próximas ao centro receberam maior atenção nos últimos anos. Quanto mais próximo das extremidades, mais estreito o tema ou muito próxima da transição do tema. Na Figura 9, temos a análise de MCA.

O primeiro cluster tem a presença de sustentabilidade ligando currículo e aprendizagem ao ensino superior. Os programas de pós-graduação são os motores que impulsionam as pesquisas voltadas ao ensino de sustentabilidade nas engenharias em outras áreas (SEVERINO, 2006; STANISKI e KALILUTE, 2016; PUNITHAVATHI et al., 2019). Costumeiramente, as grandes inovações surgem dentro de pesquisas acadêmicas, passam por inúmeras pesquisas até extrapolar os muros das universidades e chegarem às indústrias e sociedade (SCHWARTZMAN, 2008; GIBNEY, 2015; BORGES, 2016; ANDRADE, 2019). Portanto, esse cluster demonstra que muitos estudos estão em estágios iniciais ou são estudos de casos e ações preliminares.

Figura 9 - Análise de correspondência múltipla (MCA) de palavras-chave de alta frequência na área de ensino de sustentabilidade na engenharia



Fonte: Dos autores (2022).

O segundo cluster tem pesquisas e temas mais específicos do ensino de sustentabilidade na engenharia. Pesquisas foram desenvolvidas na área de ensino principalmente na área da graduação em engenharia, parte desses estudos se dedicaram em investigar metodologias ativas como Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) (Cabedo et al., 2018; SMITH; TRAN; COMPSTON, 2019). Dancz, Bilec, Landis (2018) afirmam que a aprendizagem ativa auxilia na assimilação de conceitos e conhecimentos de engenharia voltados à sustentabilidade (Chan et al., 2017; Rampasso et al., 2018).

Outros pesquisadores focaram em compreender questões práticas e boas práticas dentro das Universidades. Dentre os temas amplamente abordados temos a eficiência energética, aspectos sociais, econômicos, tecnologias ambientais, entre muitos outros (Rampasso et al., 2018; SEGALAS; FERRER-BALAS; MULDER, 2018; PUNITHAVATHI et al., 2019; JOSHI; DESAI; TEWARI, 2020). Além de desbravar a formação do engenheiro e a construção de competências e habilidades aplicadas à sustentabilidade (Quelhas et al., 2019; Nyemba et al., 2019).

## CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS NO ENSINO DE SUSTENTABILIDADE NA ENGENHARIA

Através do banco de dados da *Web of Science*, se construiu um mapeamento da literatura especializada com ênfase em ensino de sustentabilidade na engenharia numa janela de tempo de 2012 a 2022, com suporte dos softwares bibliometrix e biblioshiny para minerar e tratar esses dados analisados. Ao fim, pode-se concluir as seguintes características e perspectivas futuras dessa temática.

A tendência é de que o número de publicações continue crescendo, especialmente após 2016, devido a relevância e necessidade do desenvolvimento sustentável. Posteriormente, a esse ano houve um aumento gradual das publicações e em 2020 ocorreu outro salto demonstrando um acréscimo no volume de publicações. Em 2022, mesmo estando no primeiro trimestre do ano, já se atingiu 25% das publicações dos anos de 2020 e 2021, que são os anos que mais tiveram estudos publicados. Do ponto de vista de citações, o período com maior frequência compreendeu de 2016 a 2020. A priori, a atenção dispensada ao tema de ensino de sustentabilidade foi aumentando gradativamente com o passar dos anos.

Os países mais influentes nessa temática são Estados Unidos, Espanha, China, Austrália e Reino Unido. A China é a única não nação em desenvolvimento, entre os países que encabeçam o ranking. Já existem parcerias globais como a Agenda Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o

desenvolvimento sustentável, publicada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, portanto a cooperação em prol do desenvolvimento sustentável tende a se intensificar devido ao bem comum e as emergências globais acerca do assunto (ONU, 2021a).

As palavras-chaves mais frequentes na área do ensino de sustentabilidade na engenharia são desenvolvimento sustentável, educação em engenharia, estudantes, educação e currículo, com 15%, 14%, 10%, 6% e 6% respectivamente. Conclui-se através da análise de cluster de palavras-chaves que a (re)construção de currículos de cursos de ensino superior, o desenvolvimento de competências e habilidades aplicadas à sustentabilidade, eficiência energética e o emprego de metodologias ativas são importantes janelas para pesquisas futuras.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. Cientistas brasileiros lutam para transformar políticos em aliados. **Nature**, vol.569, nº 7758, pág. 609, maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/d41586-019-01648-y>. Acesso em: 23 de março. 2023.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>. Acesso em: 15 set. 2022.

CABEDO, Luis et al. University Social Responsibility towards Engineering Undergraduates: The Effect of Methodology on a Service-Learning Experience. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 1823, 1 jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10061823>. Acesso em: 15 set. 2022.

CAVALCANTE, Luiz Ricardo Mattos Teixeira; FAGUNDES, Maria Emília Marques. Formulação de Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação em Nível Subnacional: Isomorfismo e Aderência às Realidades Regionais. **Journal of Technology Management & Innovation**, Santiago, Chile, v. 2, n. 2, p. 136–147, 2007. Disponível em: <https://www.jotmi.org/index.php/GT/article/view/art51>. Acesso em: 22 mar. 2023.

CHAN, Cecilia K. Y. et al. A review of literature on challenges in the development and implementation of generic competencies in higher education curriculum. **International Journal of Educational Development**, v. 57, p. 1-10, nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2017.08.010>. Acesso em: 15 set. 2022.

CRESWELL, J. W.; PLANO CLARK, V. L. **Designing and conducting mixed methods research**. 2nd. Los Angeles: SAGE Publications, 2011.

DANCZ, Claire LA; BILEC, Melissa M.; LANDIS, Amy E. Active experiential sustainable engineering module for engineering education. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 144, n. 1, p. 04017011, 2018.

DING, Ying. Scientific collaboration and endorsement: Network analysis of coauthorship and citation networks. **Journal of Informetrics**, v. 5, n. 1, p. 187-203, jan. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.008>. Acesso em: 15 set. 2022.

GALVAO, M. C. B.; PLUYE, P.; RICARTE, I. L. M. Métodos de pesquisa mistos e revisões de literatura mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação. InCID: **Revista de Ciência da Informação e Documentação**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 4-24, 2017. DOI: 10.11606/issn.2178-2075.v8i2p4-24. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/incid/article/view/121879>. Acesso em: 15 set. 2022.

GIBNEY, Elizabeth. A ciência brasileira paralisada pela crise econômica. **Nature**, vol.526, nº 7571, pág. 16 a 17, 30 de setembro. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/526016a>. Acesso em: 23 de março. 2023.

JOSHI, Akhila; DESAI, Padmashree; TEWARI, Prakash. Learning Analytics framework for measuring students' performance and teachers' involvement through problem based learning in engineering education. **Procedia Computer Science**, v. 172, p. 954-959, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.138>. Acesso em: 15 set. 2022.

LEICHENKO, Robin; O'BRIEN, Karen. Teaching climate change in the Anthropocene: An integrative approach. **Anthropocene**, v. 30, p. 100241, jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2020.100241>. Acesso em: 15 set. 2022.

NYEMBA, Wilson R. et al. A systems thinking approach to collaborations for capacity building and sustainability in engineering education. **Procedia Manufacturing**, v. 33, p. 732-739, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.092>. Acesso em: 15 set. 2022.

ONU. **A Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. 2021a. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/sobre/>. Acesso em: 9abr. 2021.

PALACIN-SILVA, Maria Victoria; SEFFAH, Ahmed; PORRAS, Jari. Infusing sustainability into software engineering education: Lessons learned from capstone projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 4338-4347, jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.078>. Acesso em: 15 set. 2022.

PUNITHAVATHI, P. et al. A lightweight machine learning-based authentication framework for smart IoT devices. **Information Sciences**, v. 484, p. 255-268, maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.073>. Acesso em: 15 set. 2022.

QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves et al. Engineering education and the development of competencies for sustainability. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 20, n. 4, p. 614-629, 7 maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ijsh-07-2018-0125>. Acesso em: 15 set. 2022.

RAMPASSO, I. S. et al. An analysis of the difficulties associated to sustainability insertion in engineering education: Examples from HEIs in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 363-371, ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.079>. Acesso em: 15 set. 2022.

SAMPAIO, Rosana Ferreira; MANCINI, Marisa Cotta. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, p. 83-89, 2007.

SEGALÀS, J.; FERRER-BALAS, D.; MULDER, K. F. What do engineering students learn in sustainability courses? The effect of the pedagogical approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 3, p. 275-284, fev. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.012>. Acesso em: 15 set. 2022.

SCHNEIDER, J.; LEYDENS, J. A.; LUCENA, J. Where is 'Community'? Engineering education and sustainable community development. **European Journal of Engineering Education**, v. 33, n. 3, p. 307-319, jun. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03043790802088640>. Acesso em: 15 set. 2022.

SCHWANDT, T. A. (2007). *The SAGE Dictionary of Qualitative Inquiry*. (3 ed.) SAGE Publishing. Acesso em: < <https://experts.illinois.edu/en/publications/the-sage-dictionary-of-qualitative-inquiry>>. Acesso em: 15 set. 2022.

SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo: Companhia de Bolso, 2010.

SEVERINO, Antonio Joaquim. A avaliação no PNPB 2005-2010 e a política de pós-graduação no Brasil. In: FERREIRA, Naura Syria Carapeto (Org.). **Políticas públicas e gestão da educação: polêmicas, fundamentos e análises**. Brasília: Líber Livro, 2006. p. 51-74.

SIDDAWAY, Andy P.; WOOD, Alex M.; HEDGES, Larry V. How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. **Annual Review of Psychology**, v. 70, n. 1, p. 747-770, 4 jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>. Acesso em: 15 set. 2022.

SHIELDS, Deborah; VERGA, Francesca; ANDREA BLENGINI, Gian. Incorporating sustainability in engineering education. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 15, n. 4, p. 390-403, 26 ago. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ijsh-02-2013-0014>. Acesso em: 15 set. 2022.

SMITH, Jeremy; TRAN, Anh L. H.; COMPSTON, Paul. Review of humanitarian action and development engineering education programmes. **European Journal of Engineering Education**, v. 45, n. 2, p. 249-272, 29 maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1623179>. Acesso em: 15 set. 2022.

SOUZA, Donizeti Leandro de; ZAMBALDE, Andre Luiz; MESQUITA, Daniel Leite; SOUZA, Thais Assis de; SILVA, Nanielle Lourena Campos da. Um olhar de pesquisadores sobre os desafios da pesquisa no Brasil. **Educação e Pesquisa**, vol.46, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-4634202046221628>. Acesso em: 23 de março. 2023.

STANIŠKIS, Jurgis Kazimieras; KATILIŪTĖ, Eglė. Complex evaluation of sustainability in engineering education: case & analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 120, p. 13-20, maio 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.086>. Acesso em: 15 set. 2022.

SUNTHONKANOKPONG, Wisuit. Future Global Visions of Engineering Education. **Procedia Engineering**, v. 8, p. 160-164, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.029>. Acesso em: 15 set. 2022.

YANG, Lie; SUN, Tiantian; LIU, Yanli. A Bibliometric Investigation of Flipped Classroom Research during 2000-2015. **International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)**, v. 12, n. 06, p. 178, 27 jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i06.7095>. Acesso em: 15 set. 2022.

XIE, Hualin et al. A Bibliometric Analysis on Land Degradation: Current Status, Development, and Future Directions. **Land**, v. 9, n. 1, p. 28, 19 jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land9010028>. Acesso em: 15 set. 2022.

VALDÉS, Hugo; CORREA, Christian; MELLADO, Felipe. Proposed Model of Sustainable Construction Skills for Engineers in Chile. **Sustainability**, v. 10, n. 9, p. 3093, 30 ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10093093>. Acesso em: 15 set. 2022.

ZABANIOTOU, Anastasia; BOUKAMEL, Oumaima; TSIROGIANNI, Aigli. Network assessment: Design of a framework and indicators for monitoring and self-assessment of a customized gender equality plan in the Mediterranean Engineering Education context. **Evaluation and Program Planning**, v. 87, p. 101932, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2021.101932>. Acesso em: 15 set. 2022.

ZUPIC, Ivan; ČATER, Tomaz. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, 22 dez. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>. Acesso em: 15 set. 2022.

**Submetido:** 29/09/2022

**Aprovado:** 06/04/2023

### **CONTRIBUIÇÃO DAS/DOS AUTORES/AS**

**Autora 1 – Coordenador do projeto, participação ativa na análise dos dados e revisão da escrita final.**

**Autor 2 – Coordenador do projeto, participação ativa na análise dos dados e revisão da escrita final.**

**Autora 3 – Coleta de dados, análise dos dados e escrita do texto.**

**Autor 4 – Coleta de dados, análise dos dados e escrita do texto.**

**Autora 5 – Coordenador do projeto, participação ativa na análise dos dados e revisão da escrita final.**

### **DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE**

**Os autores declaram que não há conflito de interesse com o presente artigo.**