

Conteúdos de Engenharia de Software Verde em Cursos de Graduação em Engenharia de Software

Matheus Ataíde, Gustavo Silva, Cleiton Tavares, Laerte Xavier, Lucila Ishitani
{mgataide,gustavo.silva.619779}@sga.pucminas.br,{cleitontavares,laertexavier,lucila}@pucminas.br
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

RESUMO

O aumento da complexidade das tecnologias e dos sistemas de software tem acarretado consequências negativas para o meio ambiente. Visando tornar essas atividades mais sustentáveis, este trabalho busca identificar como os conteúdos de Engenharia de Software Verde se encontram nos currículos dos cursos de graduação em Engenharia de Software presenciais no Brasil. Para tanto, foram realizados quatro estudos complementares: uma revisão sistemática de literatura; uma análise dos currículos de cursos de graduação em Engenharia de Software presenciais do país; uma sequência de entrevistas com professores e coordenadores da área; e uma aplicação de questionário com tais coordenadores. Como resultados, foram identificados os principais conteúdos verdes propostos pela literatura, a relação de como os conteúdos de Engenharia de Software Verde são contemplados pelos cursos e a perspectiva de acadêmicos sobre os desafios para o ensino do tema e sugestões de como inserir tais conteúdos nos cursos. Vários dos resultados obtidos podem ser estendidos a outros cursos da área da computação.

CCS CONCEPTS

• **Social and professional topics** → Computing education.

PALAVRAS-CHAVE

Educação de computação, Engenharia de Software Verde, Sustentabilidade

1 INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias e dos sistemas de software tem gerado impactos ambientais negativos, com aumento no consumo de recursos e energia [12]. Por exemplo, em 2018, a demanda global de eletricidade dos *data centers* foi estimada em cerca de 198 Terawatt-hora, causando maior emissão de gases de efeito estufa e a poluição do ar [32]. Nesse contexto, é necessário repensar a maneira como o software tem sido produzido [6], considerando a sustentabilidade como um dos desafios da área [4, 24].

Contudo, apesar da gestão da sustentabilidade ser um dos movimentos em maior evidência no século XXI, essa preocupação ainda não recebeu a devida atenção por parte da Engenharia de Software [19]. Por exemplo, o tema é apontado como um dos grandes desafios de pesquisa em documentos publicados por comunidades de

pesquisadores brasileiros [4, 24]. Particularmente, observa-se que ainda faltam técnicas, informações e infraestrutura de apoio para promover a produção de sistemas de software verdes [14]. Nota-se, porém, que há uma consciência crescente da importância da sustentabilidade nos negócios e na indústria de software, impulsionada pelo rápido surgimento de plataformas e serviços digitais que têm impacto em muitos aspectos da vida, desde o transporte até a saúde, com um possível efeito negativo no meio ambiente [16].

Estudos anteriores abordam o tema de Engenharia de Software Verde [2, 15, 22, 33, 36]. Apesar de alguns desses trabalhos focarem no contexto de ensino [2, 33], nenhum deles explora esse tema no contexto particular de instituições brasileiras. Especificamente, é importante ressaltar que, conforme o Portal do Ministério da Educação (MEC), a diretriz curricular nacional—que abrange também os cursos de graduação em Engenharia de Software no país—define, no artigo 5º, inciso quatro, a norma de *pensar de maneira crítica, tomando decisões e inovando para que se reduza os impactos ambientais da área em relação ao meio ambiente* [18]. Dessa maneira, o problema motivador deste trabalho é a escassez de estudos que abordam como os cursos de graduação em Engenharia de Software, no contexto brasileiro, contemplam e incorporam os conteúdos de Engenharia de Software Verde em seus Projetos Pedagógicos de Curso (PPCs) e suas estruturas curriculares.

A partir do problema citado, o objetivo geral é analisar como conteúdos de Engenharia de Software Verde se encontram nos currículos dos cursos e PPCs de Engenharia de Software disponíveis na web. Particularmente, os objetivos específicos deste trabalho são:

- (1) Realizar um levantamento na literatura acerca dos conteúdos propostos para cursos de graduação em relação à Engenharia de Software Verde;
- (2) Analisar estruturas curriculares e PPCs disponíveis na Web, de cursos de graduação em Engenharia de Software presenciais, para identificar conteúdos relacionados à Engenharia de Software Verde em currículos de cursos em oferta;
- (3) Propor sugestões para inserir conteúdos relacionados à Engenharia de Software Verde nos PPCs dos cursos de graduação em Engenharia de Software.

Para atingir os objetivos propostos, foram realizados quatro estudos complementares: uma revisão sistemática de literatura; uma análise de estruturas curriculares e PPCs de cursos de graduação em Engenharia de Software; a aplicação de questionário a coordenadores de tais cursos; e entrevistas com coordenadores e professores da área. Os resultados encontrados formam uma lista de conteúdos relacionados à Engenharia de Software Verde propostos na literatura e a análise das estruturas curriculares e dos PPCs de cursos de graduação presenciais em Engenharia de Software, bem como dos questionários e entrevistas realizadas com coordenadores e

Fica permitido ao(s) autor(es) ou a terceiros a reprodução ou distribuição, em parte ou no todo, do material extraído dessa obra, de forma verbatim, adaptada ou remixada, bem como a criação ou produção a partir do conteúdo dessa obra, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos os devidos créditos à criação original, sob os termos da licença CC BY-NC 4.0.

EduComp'24, Abril 22-27, 2024, São Paulo, São Paulo, Brasil (On-line)

© 2024 Copyright mantido pelo(s) autor(es). Direitos de publicação licenciados à Sociedade Brasileira de Computação (SBC).

professores da área. Além disso, são apresentadas dificuldades e sugestões para incorporar conteúdos da Engenharia de Software Verde nos currículos atuais.

O restante deste artigo está organizado em oito seções. As Seções 2 e 3 apresentam o referencial teórico e os trabalhos relacionados, respectivamente. A Seção 4 detalha os materiais e métodos para realização da pesquisa. A Seção 5 apresenta os resultados da pesquisa. A Seção 6 apresenta uma discussão acerca dos resultados. A Seção 7 apresenta as ameaças à validade da pesquisa. A Seção 8 apresenta as conclusões do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresentado nesta seção contém os três principais conceitos abordados pelo presente estudo: Sustentabilidade, Educação Sustentável e Engenharia de Software Verde.

2.1 Sustentabilidade

A sustentabilidade é um termo referente às medidas de desenvolvimento sustentável no qual o uso de recursos para atender as necessidades humanas leva em conta os impactos ecológicos, econômicos e sociais [12]. O objetivo principal da sustentabilidade é promover desenvolvimento humano equilibrado e duradouro, considerando a interdependência entre as pessoas, o meio ambiente e a economia.

A sustentabilidade é uma palavra-chave no século XXI, e ganhou muita importância em todos os setores da indústria, na política, na percepção pública [8], e, também, na área de tecnologia [5]. Há uma demanda crescente por tecnologia e de aplicações de software cada vez mais complexas, o que desencadeia um impacto negativo no meio ambiente por causa do aumento do consumo de recursos e energia [12]. Apesar do progresso considerável na eficiência energética de hardware, apenas recentemente as comunidades de Linguagem de Programação e de Engenharia de Software começaram a realizar pesquisas sobre o desenvolvimento de software com eficiência energética, ou software verde [5].

A sustentabilidade busca um modelo de desenvolvimento capaz de satisfazer as necessidades atuais sem comprometer as gerações futuras [23]. Dessa forma, o desenvolvimento sustentável tem como objetivo a preservação do planeta e atendimento das necessidades humanas, gerando menores impactos ambientais [34].

2.2 Educação Sustentável

A Educação Sustentável foca em trabalhar questões-chave sobre o desenvolvimento sustentável no aprendizado. A ideia é incentivar as mudanças comportamentais e ajudar as pessoas a compreenderem melhor o mundo em que vivem, tratando de assuntos complexos ligados a sustentabilidade, tal como a degradação ambiental [11].

A educação sustentável é uma abordagem que busca mudar a forma como a educação e a aprendizagem são concebidas, levando em consideração a emergência de um novo paradigma em torno da sustentabilidade [29]. Também pode-se ressaltar que a educação sustentável não é apenas uma atividade que ocorre em instituições, mas é uma parte essencial da governabilidade de um país, contribuindo para os recursos humanos e desenvolvimento econômico da nação [31].

A compreensão do impacto das soluções de diferentes áreas da engenharia em um contexto global, econômico, ambiental e social requer uma abordagem por meio da educação sustentável [29]. Assim, existe a necessidade de fornecer treinamento para futuros engenheiros de software de forma que possam incluir a sustentabilidade em cada estágio do ciclo de vida de desenvolvimento de software e isso deve ser inserido no aprendizado [19].

2.3 Engenharia de Software Verde

A Tecnologia da Informação Verde é fundamentalmente uma forma de investigar e praticar o planejamento, construção, utilização e manutenção de softwares e hardwares de TI de maneira viável e eficiente, com um impacto menor (ou nulo) sobre o clima [25, 28].

Mais especificamente, a Engenharia de Software Verde, ou Sustentável, é um ramo da Engenharia de Software voltada para desenvolvimento, uso, manutenção e gerenciamento de aplicações para gerar menos impactos ambientais [14]. Além disso, pode ser considerada uma abordagem que aplica os princípios verdes desde produtos de hardware até produtos de software, incluindo ciclos de vida de produtos e processos [1]. Outra definição é dada por aquela que se concentra na importância da criação e gestão do processo de desenvolvimento de software de forma sustentável [35].

Dessa maneira, a Engenharia de Software Verde pode ser definida como um paradigma emergente e significativo para a sociedade em relação ao meio ambiente [19]. Além disso, ela pode ser considerada uma forma de desenvolver softwares de forma sustentável, atendendo às necessidades dos usuários atuais e futuros, enquanto minimiza seus impactos negativos no meio ambiente e na sociedade [26]. Os projetos de software possuem um impacto ambiental significativo, tanto durante as fases de desenvolvimento, quanto no momento de descarte. Nesse sentido, a Engenharia de Software Verde atua para reduzir tais impactos [16].

As habilidades essenciais para conceber, desenvolver e operar softwares sustentáveis incluem os princípios da Engenharia de Software Sustentável, são eles [17]:

- (1) **Carbono:** criar aplicativos que tenham eficiência de carbono.
- (2) **Eletricidade:** criar aplicativos que tenham eficiência energética.
- (3) **Intensidade de carbono:** consumir eletricidade com a menor intensidade de carbono.
- (4) **Carbono incorporado:** criar aplicativos que tenham hardware eficientes.
- (5) **Proporcionalidade de energia:** maximizar a eficiência energética do hardware.
- (6) **Rede:** Reduzir a quantidade de dados e a distância que eles devem percorrer pela rede.
- (7) **Modelagem de demanda:** criar aplicativos com reconhecimento de carbono.
- (8) **Otimização:** concentrar-se em otimizações passo a passo que aumentem a eficiência geral de carbono.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Estudos anteriores abordaram a inclusão de temáticas referentes à Engenharia de Software Verde em currículos de cursos de graduação. Por exemplo, Turkin and Vykhodets [33] propuseram uma

abordagem para construir um currículo de curso de Engenharia de Software com foco em computação verde e responsabilidade social no mercado. A metodologia utilizada considerou diretrizes práticas para organizar o ensino e equilibrou competências como requisitos industriais, padrões educacionais e necessidades sociais. O estudo foi aplicado em uma universidade e teve como objetivo estimular a implementação e transição de tecnologias verdes por meio do ensino superior. A abordagem proposta foi baseada nas Diretrizes Curriculares para Programas de Graduação em Engenharia de Software e teve como resultado a introdução bem-sucedida do desenvolvimento sustentável nos programas de estudo para engenheiros de software [33]. De maneira similar, o presente estudo também pretende propor sugestões nos PPCs dos cursos de graduação em Engenharia de Software. Entretanto, neste trabalho, foca-se no cenário brasileiro.

Ressalta-se também o trabalho apresentado por Alotaibi [2], cujo objetivo é compreender a conscientização em relação a tópicos de sustentabilidade entre estudantes de universidades das regiões oeste e sul do Reino da Arábia Saudita. Dentre os 318 estudantes de várias universidades públicas das regiões, 71% deles desconheciam o termo *desenvolvimento sustentável*, apenas 17% conheciam a definição básica e 12% tinham noção de como o desenvolvimento sustentável está relacionado ao desenvolvimento de software. Os resultados indicam que o currículo em vigor não abordava adequadamente questões específicas relacionadas ao tema [2]. Neste trabalho, busca-se complementar os resultados dos autores, por meio da análise dos PPCs e das perspectivas de professores e coordenadores de cursos de graduação da área. Particularmente, os estudantes dos cursos não são sujeitos de pesquisa deste estudo, mas os próprios cursos de graduação oferecidos no Brasil.

Por sua vez, Saraiva et al. [27] mostraram que os engenheiros de software carecem de mais conhecimentos em técnicas e ferramentas para desenvolver softwares verdes. O artigo recomenda que o tema Software Verde seja incluído nos currículos de Ciência da Computação e cursos das áreas relacionadas. Para abordar esse problema, uma pesquisa foi realizada com 72 membros do comitê de programa do *Workshop* Internacional sobre Software Verde e Sustentável. Dos entrevistados, apenas 9,5% ensinavam sobre software verde e 94,7% acreditavam que os estudantes de Engenharia de Software deveriam aprender práticas de eficiência energética. A maioria dos entrevistados também indicou que os conceitos de software verde deveriam ser incorporados nas matérias existentes e que 61% acreditam que isso deveria ser feito na graduação [27]. Este trabalho foi utilizado como inspiração para construção e aplicação do questionário realizado com coordenadores de diferentes cursos de Engenharia de Software presencial.

Por fim, Mishra and Mishra [19] afirmaram que o setor de Educação, incluindo os educadores, tem um papel significativo para garantir que futuros engenheiros de software entendam as dimensões da sustentabilidade. O artigo apresentou um modelo para promover o desenvolvimento de currículos para cursos de graduação em Engenharia de Software para o ensino de práticas sustentáveis. Para isso, os autores listaram e detalharam 11 temas importantes para inclusão em currículo de Engenharia de Software. Por exemplo, são listados pelos autores os temas “Teoria da Sustentabilidade” e “Análise de Sustentabilidade”. Esses 11 temas foram considerados nas análises realizadas neste trabalho.

4 MÉTODOS

O presente trabalho é classificado como uma pesquisa qualitativa e foi organizado nas cinco etapas conforme apresentado na Figura 1. Essas etapas são detalhadas nas subseções seguintes. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE 68635723.4.0000.5137) e todos os respondentes de questionário e entrevista aceitaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Todos os artefatos utilizados nesta pesquisa estão disponíveis no pacote de replicação disponibilizados pelos autores [3].

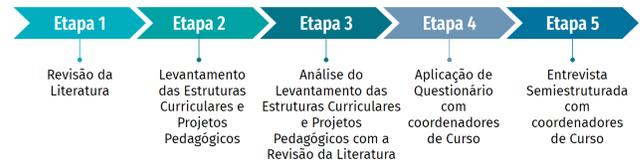


Figura 1: Visão geral dos métodos adotados na pesquisa

4.1 Revisão de Literatura

Esta etapa do trabalho teve por objetivo selecionar, identificar e analisar propostas apresentadas em artigos científicos, relacionadas a currículos que incluem Engenharia de Software Verde. Para isso, foi adotada uma estratégia baseada no método de Revisão Sistemática de Literatura [9]. O *Google Acadêmico* foi escolhido como ferramenta de busca por trabalhos na área de interesse, por considerar várias bases e publicações em seu mecanismo de pesquisa.

Para realizar a revisão de literatura, foi elaborado um planejamento detalhado [9]. A primeira atividade consistiu na definição da questão base da pesquisa: *Quais são os principais conteúdos e práticas utilizadas para incorporar princípios relacionados à Engenharia de Software Verde em currículos de cursos de graduação da área de TI?*

Em seguida, foram definidos critérios de inclusão e exclusão para a presente pesquisa. Os critérios de inclusão consistiram em considerar trabalhos escritos em inglês ou português e com foco em criar e apresentar conteúdos relacionados a Engenharia de Software Verde, para que cursos de graduação em TI contemplem conteúdos e temas relacionados à Engenharia de Software Verde. Foram excluídos dos resultados os trabalhos que não condizem com o contexto de TI e sustentabilidade, além de trabalhos que não possuem o propósito inclusivo ou analítico de tais conteúdos nos currículos de cursos da área de TI, bem como trabalhos duplicados. Não foram definidos critérios de qualidade para este processo de seleção de trabalhos.

As palavras-chave utilizadas na busca foram: *Green software curriculum* ou *Sustainable software development Curriculum*. Em português, foram realizadas duas buscas: a primeira buscou pelas palavras-chave “currículo” e “desenvolvimento de software sustentável”; a segunda, por “currículo” e “software verde”. Foram considerados para análise os cem primeiros resultados da busca por palavras-chave em inglês e os quinze resultados da busca por palavras-chave em português.

Por fim, foi feita uma síntese dos conteúdos da Engenharia de Software Verde identificados para integrar currículos de cursos de graduação de TI.

Todo o processo foi conduzido por três dos autores deste trabalho: dois alunos de curso de bacharelado em Engenharia de Software e

um professor do mesmo curso. Os dois alunos realizaram o processo de seleção, sob a supervisão do professor. Dúvidas foram discutidas em reuniões semanais.

4.2 Análise Documental das Estruturas Curriculares e PPCs disponíveis

Nesta etapa, foram identificados, no *e-MEC*¹, os 63 cursos de graduação em Engenharia de Software presenciais e em atividade. Foi feita uma busca pelas Estruturas Curriculares e PPCs disponíveis nos *sites* das respectivas Instituições de Ensino Superior, no dia 23 de março de 2023.

Em seguida, foi verificado se cada curso analisado possui disciplinas que apresentam relação com a Engenharia de Software Verde, considerando a síntese obtida a partir da revisão de literatura. Para isso, foi realizada uma análise comparativa entre as disciplinas ofertadas em cada curso e os conteúdos verdes identificados na literatura. Todo o processo foi manual, sem uso de ferramentas de apoio. Dúvidas foram discutidas em reuniões semanais.

Esta etapa permitiu identificar lacunas existentes nos currículos dos cursos de graduação em Engenharia de Software em relação à abordagem da Engenharia de Software Verde.

4.3 Verificação da presença dos conteúdos extraídos da Revisão de Literatura

Para melhor compreender como os conteúdos relacionados à Engenharia de Software Verde são oferecidos nos cursos presenciais de graduação em Engenharia de Software no país, foi elaborado um questionário² com 23 perguntas, sendo 22 objetivas e uma subjetiva. O questionário foi criado na ferramenta *Microsoft Forms* e foi enviado aos coordenadores de cursos analisados na etapa anterior. Pelo fato da maior parte das questões ser fechada, a estimativa de tempo para responder ao questionário era de 10 minutos.

As perguntas objetivas buscaram informações sobre o contexto atual de implantação dos conteúdos extraídos na revisão de literatura, em relação ao curso de atuação do participante. Havia uma pergunta para cada conteúdo. As possíveis respostas para cada pergunta eram: *Conteúdo inexistente no currículo e inviável de ser incluído*, *Conteúdo inexistente no currículo, mas possível de ser incluído*, *Conteúdo parcialmente presente no currículo*, *Conteúdo integralmente presente em uma ou mais disciplinas no currículo*, *Disciplina presente no currículo* e *Não sei informar*. A Figura 2 apresenta, como exemplo, duas questões do questionário.

A pergunta subjetiva buscou a opinião dos participantes em relação a disciplinas, práticas e conteúdos em geral que porventura não tenham sido identificados na revisão de literatura e sejam de conhecimento do participante: *Existe alguma disciplina, conteúdo ou atividade que é oferecida pelo curso, sobre práticas sustentáveis no curso de Engenharia de Software, que não esteja contemplada no questionário?*

Os resultados obtidos a partir do questionário foram analisados qualitativa e quantitativamente. As respostas às questões objetivas foram analisadas por meio de estatística descritiva. Para análise

¹Cadastro Nacional de Cursos e Instituições de Educação Superior. Disponível em: <https://emec.mec.gov.br/emec/nova>. Acesso em: 23 março 2023

²Conteúdo do questionário está disponível em: <https://drive.google.com/file/d/19kH-Ud7-F-t-mn0Y9PzjEmwDxG0VsCj/view?usp=sharing>

3. Análise de Sustentabilidade *

A disciplina Análise de Sustentabilidade aborda questões de sustentabilidade no desenvolvimento de Software, desde a estimativa de custos até a manutenção, incluindo uma etapa específica de análise verde no processo de Engenharia de Software. Também são abordados diversos tópicos relacionados à Tecnologia da Informação Verde, como o uso de energia pelos sistemas, gerenciamento de emissão de carbono, avaliação do ciclo de vida dos sistemas e métricas para medir o impacto ambiental e social da Tecnologia da Informação.

- Conteúdo inexistente no currículo e inviável de ser incluído
- Conteúdo inexistente no currículo, mas possível de ser incluído
- Conteúdo parcialmente presente no currículo
- Conteúdo integralmente presente em uma ou mais disciplinas no currículo
- Disciplina presente no currículo
- Não sei informar

4. Engenharia de Requisitos Sustentável *

A disciplina Engenharia de Requisitos Sustentável aborda a engenharia de requisitos orientada a objetivos, além de definir se as definições são guiada pela sustentabilidade ambiental. A disciplina busca compreender a sustentabilidade e incorporá-la no processo de modelagem através de partes interessadas, objetivos, processos e sistemas, com foco na sustentabilidade. Também são exploradas novas tecnologias para ajudar a alcançar a sustentabilidade.

- Conteúdo inexistente no currículo e inviável de ser incluído
- Conteúdo inexistente no currículo, mas possível de ser incluído
- Conteúdo parcialmente presente no currículo
- Conteúdo integralmente presente em uma ou mais disciplinas no currículo
- Disciplina presente no currículo
- Não sei informar

Figura 2: Exemplos de questões objetivas do questionário

das respostas à questão subjetiva foi utilizado o método de Análise Temática [7].

4.4 Entrevista com coordenadores de curso e professores de área de Engenharia de Software

O objetivo das entrevistas semiestruturadas foi coletar a opinião dos participantes sobre o tema Engenharia de Software Verde, assim como a forma de inclusão dessa temática nos cursos de graduação em Engenharia de Software e os possíveis desafios para sua implantação. Portanto, foram convidados para as entrevistas todos os coordenadores dos cursos de graduação em Engenharia de Software. Depois, devido ao fato de somente um coordenador curso ter aceitado participar da entrevista, também foram convidados professores da área, do estado de Minas Gerais, identificados em Comitês de Programa do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software.

As entrevistas consistiram de quatro perguntas subjetivas:

- (1) Você compreende o conceito de Engenharia de Software Verde nos cursos de graduação em Engenharia de Software? Se sim, como entende? Se não, o entrevistador apresenta uma breve explicação sobre o assunto.
- (2) O que você acredita ser a aplicação dos conteúdos de Engenharia de Software Verde nos cursos atuais de Engenharia de Software no Brasil?
- (3) Quais as maiores dificuldades e desafios para tal implantação?
- (4) O que você propõe para implementar nos cursos de Engenharia de Software, para que a prática da Engenharia de Software Verde se torne mais presente a longo prazo?

Para a realização das entrevistas semiestruturadas, foi utilizada a ferramenta de comunicação virtual *Google Meet*. As respostas obtidas foram transcritas e analisadas qualitativamente, por meio de análise temática [7], e utilizadas para complementar os resultados do estudo.

5 RESULTADOS

Com base nas etapas da metodologia descritas anteriormente, esta seção apresenta os resultados obtidos.

5.1 Propostas coletadas a partir da Revisão de Literatura

Na etapa de Revisão de Literatura, foram encontrados dezoito artigos compatíveis com os objetivos da busca, todos eles redigidos em inglês. Portanto, apenas pela análise de título e resumo, foi possível excluir 97 trabalhos. Além desses, oito trabalhos foram descartados porque estavam duplicados, não pertenciam à área de TI ou abordavam temas e conceitos relacionados à Engenharia de Software Verde, mas não discutiam uma forma de inserir esses conteúdos em currículos de cursos de graduação da área de TI.

Assim, foram selecionados dez trabalhos para extrair informações sobre conteúdos propostos para o aprimoramento dos currículos de cursos de graduação em Engenharia de Software. Os artigos selecionados são apresentados na Tabela 1.

Após extração e organização dos conteúdos sugeridos pelos autores dos trabalhos selecionados, para integrar um currículo de curso de graduação da área de TI, foi possível organizar uma lista de 22 conteúdos. Uma proposta inicial foi elaborada pelos dois primeiros autores deste artigo. Depois, essa proposta foi revisada e discutida em reuniões com a participação de todos os autores deste trabalho.

Em ordem alfabética, esses conteúdos são mostrados na Tabela 2.

Cabe ressaltar que cada um desses conteúdos extraídos pode corresponder a parte de uma disciplina ou até mesmo a uma disciplina de maneira integral.

5.2 Cursos de graduação selecionados

Durante esta etapa do estudo, foram selecionados 63 cursos presenciais de graduação em Engenharia de Software no país, a partir de dados do portal *e-MEC*, do dia 23 de março de 2023³. A estratégia de selecionar apenas cursos presenciais foi adotada pelos autores do trabalho, por ser uma amostra considerável para análise e por

Tabela 1: Artigos selecionados na revisão de literatura

Título	Citação
A green model for sustainable software engineering	[12]
Investigating the higher education curriculum for sustainable software development	[2]
Sustainable software Engineering Education Curricula Development	[19]
Education for cleaner production in information and communication technologies curriculum	[10]
Investigating students sustainability awareness and the curriculum of technology education in Pakistan	[13]
Green information technology/information system education: Curriculum views	[21]
Sustainable software Engineering: Curriculum Development Based on ACM/IEEE Guidelines	[20]
Software engineering sustainability education in compliance with industrial standards and green IT concept	[33]
Bringing Green software to Computer Science Curriculum: Perspectives from Researchers and Educators	[27]
On the presence of green and sustainable software engineering in higher education curricula	[30]

haver maior disponibilidade de documentação nos respectivos *sites* das instituições de ensino.

5.3 Análise dos currículos dos cursos selecionados

Nesta etapa, os cursos selecionados de graduação em Engenharia de Software foram agrupados de duas maneiras. O primeiro grupo era composto por 25 cursos que disponibilizavam PPCs de curso ou ementas das disciplinas que os compõem, além de suas estruturas curriculares. Por sua vez, o segundo grupo era composto por 38 cursos cujos PPCs e ementas não puderam ser localizados, sendo possível acessar apenas suas estruturas curriculares.

Para a análise do primeiro grupo de cursos, foi realizada uma avaliação detalhada do conteúdo de cada disciplina de suas estruturas curriculares, buscando associações com os conteúdos extraídos na etapa da revisão de literatura. A partir dessas associações, foi elaborada a Tabela 3 que apresenta a quantidade de ocorrências de cada conteúdo extraído da revisão de literatura em disciplinas dos cursos de graduação em Engenharia de Software analisados no primeiro grupo.

Por sua vez, a análise do segundo grupo consistiu apenas em avaliar se o nome das disciplinas presentes nas estruturas curriculares explicitamente apresentavam alguma relação com a Engenharia de Software Verde. Embora essa análise tenha sido menos aprofundada em relação à do primeiro grupo, pela falta de disponibilidade dos documentos necessários, ela ainda permitiu identificar disciplinas relacionadas à sustentabilidade na Engenharia de Software. Essas disciplinas estão listadas na Tabela 4.

³A lista completa dos 63 cursos analisados está disponível em: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1bN6WKMDZgUdZBv2zdmzyWbvcv9z3Jk5DodQ_d6oJOJU4/edit?usp=sharing

Tabela 2: Conteúdos relacionados à Engenharia de Software (ES) Verde

Conteúdo	Descrição
Análise de Sustentabilidade	Aborda desde a estimativa de custos até a manutenção do desenvolvimento de Software, incluindo etapa específica de análise verde na ES, tópicos sobre Tecnologia da Informação (TI) Verde, como uso de energia pelos sistemas, gerenciamento de emissão de carbono, avaliação do ciclo de vida dos sistemas e métricas para medir impacto ambiental e social da TI [12, 20, 21]
Aplicações Avançadas Sustentáveis	Discute a manutenção de sistemas de computação paralela, clusters e grid de forma sustentável, aborda técnicas para maximizar a utilização dos recursos disponíveis, reduzir o consumo de energia e implementar o gerenciamento de energia e enfatiza a importância de abordar a sustentabilidade na computação avançada e como isso pode contribuir para um mundo mais sustentável [19]
Arquitetura e Design de Software Sustentável	Aborda a aplicação da sustentabilidade no desenvolvimento de software, incluindo criação e uso de instâncias do banco de dados, interação humano-computador e a interconexão de módulos, uso de padrões e práticas que reduzem o consumo de recursos e energia, uso de processos de baixo consumo de energia e recursos renováveis para alimentar a infraestrutura de TI, estudo de ecossistemas de Software, incluindo princípios de classificação, metamodelos, modelagem, previsão de evolução e monitoramento [19, 20, 33]
Computação em Nuvem Sustentável	Aborda a aplicação da computação em nuvem como uma forma de garantir a sustentabilidade social, empresarial e ambiental, exposição de tópicos relacionados à inclusão de serviços empresariais de maneira econômica, social e ecológica usando computação em nuvem [20, 21]
Computação Sustentável	Aborda o conceito de computação sustentável, que se refere à conscientização sobre questões de sustentabilidade em todos os setores da computação, bem como o impacto ambiental do ramo [10]
Construção e Evolução do Software Sustentável	Aborda o uso de ferramentas e técnicas específicas para ensinar aos alunos sobre como diferentes estruturas de dados, algoritmos, linguagens de programação e padrões de design podem impactar no consumo de energia, destaca a importância do projeto na garantia da sustentabilidade do componente de software e ressalta a aplicação de técnicas de TI Verde no planejamento e implementação de sistemas para reduzir o uso de energia e outros impactos ambientais [12, 20, 21, 27, 30]
Data Center Sustentável	Aborda a importância dos centros de dados verdes na redução da pegada de carbono, design e implementação de armazenamento de dados e aplicativos energeticamente eficientes, boas práticas na construção desses centros, teorias e práticas para a redução do consumo de energia, gerenciamento e agendamento de recursos com consciência energética, práticas em sistemas de energia mensuráveis e otimizações de software para melhorar a eficiência energética [20, 21, 27]
Engenharia de Requisitos Sustentável	Aborda a Engenharia de requisitos orientada a objetivos, baseada em metas para especificar e modificar requisitos, além de determinar se um requisito não funcional ou uma meta principal para um sistema é a sustentabilidade ambiental. Busca compreender a sustentabilidade e incorporá-la no processo de modelagem de partes interessadas, objetivos, processos e sistemas, com foco em tecnologias como <i>Cloud Computing</i> em termos de Infraestrutura como Serviço (IaaS) e software orientado a serviços, para ajudar a alcançar a sustentabilidade [12, 20, 30]
Gerenciamento de Projetos de Software Sustentáveis	Aborda a inclusão de atividades de sustentabilidade na fase de planejamento, controle e monitoramento do processo de desenvolvimento de Software. São utilizadas ferramentas e métodos adequados de gerenciamento de projetos e abordagens ágeis para garantir a estimativa e planejamento efetivos, além de serem apresentadas métricas e atributos de qualidade específicos para medir a sustentabilidade ambiental do sistema de Software. A disciplina também considera as barreiras e desafios típicos encontrados em projetos de Software sustentável e discute como os gerentes de TI e CIOs podem superá-los para operar de forma mais “verde” [2, 12, 13, 19–21]
Interação Humano-Computador (IHC) Sustentável	Aborda a inclusão de princípios de design de sistemas sustentáveis na IHC e no design de sistemas de software, garantindo que o desenvolvimento de software e a interação com o usuário final sejam guiados por princípios de sustentabilidade [20]
Internet das Coisas (IoT) Sustentável	Aborda como as tecnologias relacionadas à Internet das Coisas podem influenciar na promoção da sustentabilidade ambiental, especialmente em áreas que demandam o uso inteligente de água e a eficiência energética, por meio de suas aplicações específicas [20]
Modelagem e Análise de Software Sustentável	Aborda a incorporação da sustentabilidade nos requisitos de software por meio de diagramas UML, com foco na visualização de trade-offs e resolução de conflitos entre diferentes partes interessadas, além de discutir ferramentas para modelagem de sistemas de software complexos e técnicas de modelagem de ecossistemas de software [19, 20, 33]
Práticas com Ferramentas Sustentáveis	Aborda ferramentas em práticas para auxiliar em diferentes estágios de desenvolvimento de software sustentável e enfatiza a importância da aprendizagem de novas ferramentas para minimizar o impacto ambiental da computação, propõe a inclusão de atividades práticas voltadas para o desenvolvimento de código “verde” e medição de métricas relacionadas à sustentabilidade em software [19–21, 30]
Práticas de Responsabilidade Social focadas em Sustentabilidade	Aborda a importância de integrar questões ambientais na prática profissional global, abordando temas como emissões de carbono, eficiência energética, reciclagem e design verde de sistemas, aborda também modelos de desempenho para ES Verde, a fim de orientar auditorias computacionais com foco em sustentabilidade e identificar soluções para problemas ambientais causados pela TI [20, 21]
Processo de Software Sustentável	Aborda a inclusão de processos de ES sustentável com abordagens Ágile e DevOps, traz o conhecimento das ferramentas, métodos e tecnologias aplicáveis para facilitar o processo de ES sustentável, aborda a utilização de energia e recursos desde o início do processo e a aplicação de eco design de serviços digitais para garantir a redução dos impactos ambientais [20, 30]
Programação Energeticamente Eficiente	Aborda técnicas e práticas relacionadas à TI Verde, com o objetivo de aumentar a eficiência energética, apresenta métodos de economia de energia no uso de recursos de computação, bem como critérios para a avaliação de sistemas, tecnologias e software “verdes” e discute métodos e ferramentas para avaliação energética de aplicações de software, além de serem apresentadas inovações e perspectivas para o desenvolvimento de métodos e ferramentas de economia de energia em computação [21, 30, 33]
Qualidade e Teste de Software Sustentável	Aborda a otimização do processo de teste por meio de métricas e atributos de qualidade para medir a sustentabilidade ambiental do sistema de software. São mencionados exemplos de atributos de qualidade, como tolerância, gerenciamento de falhas e testabilidade, além da utilização de ferramentas de gerenciamento de configuração e inspeção de software para garantir a sustentabilidade do sistema. Destaca também a importância do conhecimento das normas de eco design, como a ISO 14006 e a ISO 14062 [12, 19, 20]
Redes Sustentáveis	Discute a sustentabilidade com ênfase em redes, apresenta tópicos relacionados ao uso de redes e computação para estimar e reduzir a pegada de carbono de infraestruturas. Também apresenta estratégias para gerenciar redes inteligentes no contexto da computação [21]
Sistemas Web e Mobile Sustentáveis	Aborda a relação entre sustentabilidade e velocidade da página de uma aplicação e propõe um estudo sobre a relação entre a eficiência de execução de um site e a redução no consumo de energia, o que leva a uma menor pegada de carbono, aborda o uso de design eficiente de software, a promoção de tecnologias, estruturas de desenvolvimento e ferramentas que facilitem a sustentabilidade no desenvolvimento de sistemas web e mobile, bem como conceitos sobre interface social do software com questões de sustentabilidade e práticas de uso [20]
Teoria da Sustentabilidade	Aborda conceitos e terminologias de Sustentabilidade, análise dos principais fatores motivadores de investimentos em projetos de TI Verde, barreiras típicas na implementação de software Verde, compreensão do conceito de sustentabilidade no contexto do desenvolvimento de software, sua aplicação nas diferentes fases do ciclo de vida do software e a importância da inclusão do pensamento “verde” no currículo [20, 21, 27, 33]
Teorias e Práticas de Redução do Consumo de Energia de Software	Aborda diversos tópicos relacionados à eficiência energética, incluindo o uso de hardware de computação, a construção de centros de dados ecológicos, teorias de redução de consumo de energia de software e o gerenciamento de recursos com consciência energética. Além disso, a disciplina compartilha experiências práticas em sistemas de energia mensuráveis e otimizações de software para aumentar a eficiência energética [27, 30]
Verificação e Validação de Software Sustentável	Aborda a inclusão de processos otimizados de verificação e validação de software, que incluem diferentes tipos de teste e operação do produto de software, discutindo ferramentas e técnicas de automação de sistemas de especificação e verificação, a integração da sustentabilidade em diferentes fases do ciclo de vida do software, métodos e ferramentas para a análise de riscos e gestão de mudanças, que ajudam a garantir a qualidade e sustentabilidade do software ao longo do tempo [20]

Tabela 3: Relação de ocorrência entre conteúdos identificados na revisão de literatura e as disciplinas dos cursos analisados

Conteúdos extraídos da Revisão de Literatura	Ocorrências em disciplinas obrigatórias	Ocorrências em disciplinas optativas
Análise de Sustentabilidade	4	1
Aplicações Avançadas Sustentáveis	1	2
Arquitetura e Design de Software Sustentável	1	0
Computação em Nuvem Sustentável	0	0
Computação Sustentável	9	3
Construção e Evolução de Software Sustentável	7	2
Data Center Sustentável	1	0
Engenharia de Requisitos Sustentável	2	0
Gerenciamento de Projetos de Software Sustentáveis	2	0
Interação Humano-Computador Sustentável	2	1
Internet das Coisas (IoT) Sustentável	0	0
Modelagem e Análise de Software Sustentável	0	0
Práticas com Ferramentas Sustentáveis	0	0
Práticas de Responsabilidade Social focadas em Sustentabilidade	34	7
Programação Energeticamente Eficiente	1	4
Qualidade e Teste de Software Sustentável	0	0
Redes Sustentáveis	0	0
Sistemas Web e Mobile Sustentáveis	2	0
Teoria da Sustentabilidade	12	3
Teorias e Práticas de Redução do Consumo de Energia de Software	2	3
Verificação e Validação de Software Sustentável	0	0
Processo de Software Sustentável	2	0

Tabela 4: Disciplinas com foco em sustentabilidade nos cursos que não disponibilizam ementas em seus sites

Nome da disciplina
Ciência, Comunicação e Sustentabilidade
Ciência, Tecnologia e Sustentabilidade
Desenvolvimento Sustentável (2 cursos)
Ecologia e Preservação do Ambiente
Educação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável
Educação Ambiental (EA): Transição para Sociedades Sustentáveis
Ética e Responsabilidade Social
Ética Profissional, Legislação e Responsabilidade Social
Gestão Ambiental (2 cursos)
Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável
Homem, Sociedade e Meio Ambiente
Meio Ambiente, Sustentabilidade e Cidadania
Pesquisa Aplicada e Meio Ambiente
Políticas de Educação Ambiental
Questões Teóricas e Aplicadas de Ética e Política
Sociedade, Cultura e Meio Ambiente
Socio ambientalismo e Sociedades Sustentáveis na América Latina
Sustentabilidade
Sustentabilidade e Meio Ambiente

5.4 Dados coletados por questionário

Foram feitas tentativas de contato com todos os 63 coordenadores de cursos de graduação presenciais em Engenharia de Software, por meio de canais como *e-mail* e a plataforma *LinkedIn*. Nove coordenadores aceitaram contribuir respondendo ao questionário.

Com base nas respostas do questionário, os conteúdos que se destacaram em relação à Engenharia de Software Verde foram Teoria da Sustentabilidade, Computação em Nuvem Sustentável, Sistemas Web e Mobile Sustentáveis e Práticas de Responsabilidade Social com foco em Sustentabilidade. Esses conteúdos tiveram pelo menos quatro ocorrências nos cursos, de acordo com as respostas dos participantes do questionário.

No que se refere aos conteúdos de Internet das Coisas (IoT) Sustentável, Computação em Nuvem Sustentável e Sistemas Web e Mobile Sustentáveis, foi identificada quantidade maior de ocorrências nas respostas do questionário do que nas análises dos cursos, o que pode indicar que esses conteúdos estão presentes em disciplinas dos cursos. No entanto, durante a análise dos PPCs e das estruturas curriculares dos cursos, foram encontradas nenhuma ou poucas ocorrências desses conteúdos.

Não houve respostas para a pergunta aberta do questionário: “Existe alguma disciplina, conteúdo ou atividade que é oferecida pelo curso sobre práticas sustentáveis no curso de Engenharia de Software que não esteja contemplada no questionário?”.

5.5 Dados coletados por entrevistas

Um coordenador de curso de graduação e dois professores da área de Engenharia de Software participaram das entrevistas semiestruturadas. Nesta seção, cada um desses participantes é identificado, respectivamente, como P1, P2 e P3. As entrevistas tiveram duração de 15 a 40 minutos.

Conforme respostas apresentadas, P2 conhecia o conceito de Engenharia de Software Verde: “Compreendo o conceito de Engenharia de Software Verde e acredito estar vinculado à produção de um

artefatos, processos ou produtos de software mensurando os impactos desses itens no meio ambiente.” P1 e P3 tinham uma ideia do que poderia ser a Engenharia de Software Verde mas não tinham precisão nas definições e práticas. Por exemplo, P1 disse: “*Trabalho com o tema da sustentabilidade há um bom tempo. Já ouvi dizer sobre a Engenharia de Software Verde mas nunca me aprofundei no tema*”.

De acordo com os entrevistados, não há uma ênfase nos currículos dos cursos de Engenharia de Software no Brasil em relação aos conteúdos de Engenharia de Software Verde. P1, P2 e P3 destacam que, embora haja discussões sobre o assunto em sala de aula, não são abordados tópicos específicos sobre Engenharia de Software Verde nos currículos e que isso se deve à falta de reconhecimento da importância desse tema por parte de alguns professores e alunos. Além disso, P2 e P3 observaram que a falta de conexão entre as disciplinas dificulta a inclusão da Engenharia de Software Verde nos programas de ensino. No entanto, P1 mencionou a existência de uma disciplina em seu curso que aborda a sustentabilidade e a criação de softwares com impacto positivo na redução da degradação ambiental, por meio de um trabalho interdisciplinar.

Em relação à implantação de conteúdos sobre Engenharia de Software Verde, os entrevistados destacaram várias dificuldades e desafios. P1 mencionou três desafios principais: a complexidade do processo de mudança curricular, que requer equilíbrio entre as exigências do MEC e a inclusão de tópicos relevantes; a capacitação dos alunos para a produção de software verde, o que requer engajamento do corpo docente; e a integração de questões de Software Sustentável e Hardware Sustentável. P2 ressaltou que a falta de consciência sobre as necessidades ambientais pode levar à subestimação da importância da Engenharia de Software Verde nos cursos de graduação. Além disso, P2 mencionou que tanto os estudantes quanto alguns docentes não mostram interesse ou compreensão da necessidade de formar alunos com conhecimentos relevantes para a produção de software sustentável. Por fim, P3 apontou que a velocidade das mudanças na área de computação, torna desafiador atualizar constantemente os currículos, juntamente com a falta de preparo de alguns professores para lecionar esses temas.

Dentre as sugestões apresentadas para que a Engenharia de Software Verde se torne mais presente nos cursos, P1 sugeriu incluir a temática nas estruturas curriculares dos cursos, além de abordá-la em iniciativas de pesquisa e outras atividades que compõem a formação do aluno. O mesmo também salientou a importância da criação de uma disciplina multidisciplinar, abordando questões relacionadas a mercado de TI e empresas, trabalhando as competências necessárias para a criação de aplicativos e softwares sustentáveis.

Por sua vez, P2 sugeriu criar uma disciplina que promova discussões baseadas em cenários relacionados à Engenharia de Software Verde, gerando debates sobre a sustentabilidade das soluções, como escolha de linguagens de programação, arquiteturas e infraestrutura de armazenamento e hospedagem, além de formas de prolongar a vida útil dos dispositivos e evitar o consumo excessivo de energia. Além disso, criar conexões entre disciplinas seria uma possibilidade para introduzir a prática da sustentabilidade em situações específicas da Engenharia de Software.

Por fim, P3 sugeriu introduzir a temática da sustentabilidade na área da Engenharia de Software, mesmo que não haja uma mudança estrutural do curso. Ele sugere a inclusão de projetos educativos voltados para a sustentabilidade nas disciplinas que leciona, bem

como a organização de eventos de tecnologia que abordem esse tema, como *Hackathons* e olimpíadas de programação. Além disso, ele frisa a importância de incentivar os alunos a trazerem discussões sobre sustentabilidade para as aulas, embora essa ideia seja difícil, visto que muitos estudantes de computação não estão interessados na temática. E, finalmente, as instituições de ensino devem se adaptar às demandas do mundo atual e promover mudanças para capacitar os alunos na área da Engenharia de Software Verde.

6 DISCUSSÃO

Para análise dos conteúdos para integrar um currículo de curso de graduação da área de TI, foi considerada uma lista de 22 conteúdos, elaborada a partir de dez trabalhos resultantes de uma revisão de literatura. Nenhum dos artigos selecionados considerou o contexto brasileiro. Entretanto, não houve respostas para a pergunta aberta do questionário, em que os respondentes tinham a oportunidade de sugerir alguma disciplina, conteúdo ou atividade relacionada a práticas sustentáveis que não estivesse contemplada no questionário. Portanto, essa lista de 22 conteúdos parece estar completa, também considerando os cursos oferecidos no Brasil.

Doze conteúdos foram considerados inviáveis de serem implementados, conforme respostas de um ou mais dos coordenadores de curso que responderam ao questionário. São eles: Arquitetura e Design de Software Sustentável, Verificação e Validação de Software Sustentável, Qualidade e Teste de Software, Aplicações Avançadas Sustentáveis, Construção e Evolução do Software Sustentável, Internet das Coisas (IoT) Sustentável, Computação em Nuvem Sustentável, Data Center Sustentável, Práticas com Ferramentas Sustentáveis, Teorias e práticas de redução do consumo de energia de Software, Sustentabilidade em Redes, Programação Energeticamente Eficiente. Data Center Sustentável foi o conteúdo com maior número de respostas negativas: quatro. Contudo, conforme respostas dos coordenadores de curso ao questionário, todos os conteúdos estão presentes em no mínimo um dos cursos participantes. Assim, esse resultado pode representar dificuldades específicas de infraestrutura de um curso ou até mesmo um foco dado ao projeto pedagógico de curso que o distancia da possibilidade de inclusão de determinado conteúdo no currículo.

Na análise do primeiro grupo dos cursos de graduação em Engenharia de Software, verificou-se uma presença maior dos conteúdos Práticas de Responsabilidade Social focadas em Sustentabilidade, Teoria da Sustentabilidade e Computação Sustentável. Esse resultado parece indicar que a presença da Engenharia de Software Verde nos cursos analisados se dá principalmente por meio de disciplinas que abordam a parte conceitual e teórica da sustentabilidade.

Também foi possível observar que as disciplinas optativas seguem o mesmo padrão de ocorrências observado na análise das disciplinas obrigatórias, na qual também existe uma quantidade maior de ocorrências de conteúdos teóricos do que práticos, com exceção dos conteúdos Programação Energeticamente Eficiente e Teorias e Práticas de Redução do Consumo de Energia de Software, identificados com mais frequência em disciplinas optativas do que em disciplinas obrigatórias, o que pode ser um indício de que esses tópicos não estão sendo considerados como fundamentais para a formação profissional.

Durante a análise de um dos cursos do primeiro grupo, foram identificadas diversas disciplinas teóricas e práticas voltadas também para a sustentabilidade. Isso indica que há a possibilidade de os cursos terem currículos cada vez mais voltados para práticas sustentáveis.

Na análise das ementas das disciplinas, foram observados alguns termos como *otimização* e *eficiência*. A simples presença desses termos não permite afirmar a existência de algum conteúdo voltado para a Engenharia de Software Verde. Contudo, eles permitem incluir, com facilidade, conteúdos e discussões sobre a Engenharia de Software Verde nessas disciplinas.

Com relação às respostas obtidas por meio de questionário, observou-se que determinados conteúdos não figuraram entre aqueles com mais ocorrências na etapa de análise dos cursos, mas apresentaram maior frequência, de acordo com as respostas do questionário. Especificamente, os conteúdos Computação em Nuvem Sustentável e Sistemas Web e Mobile Sustentáveis se destacaram nesse sentido. Isso pode ter ocorrido em razão desses conteúdos estarem vinculados a disciplinas do segundo grupo, cujos PPCs ou ementas não foram disponibilizados, ou ainda por fazerem parte do primeiro grupo, mas sem descrição completa ou detalhada nos PPCs em relação às disciplinas correspondentes, o que impediu a sua identificação.

Houve, ainda, o caso de conteúdos que não foram identificados na etapa de análise dos cursos, porém foram citados nas respostas do questionário, tais como Internet das Coisas (IOT) Sustentável e Redes Sustentáveis, indicando que os respondentes consideram que esses conteúdos são trabalhados nos cursos, ainda que não estejam explícitos nos nomes das disciplinas ou em tópicos das ementas.

Foi observado que os conteúdos mais frequentes nas disciplinas dos cursos de graduação em Engenharia de Software são Teoria da Sustentabilidade e Práticas de Responsabilidade Social focadas em Sustentabilidade. Esses conteúdos também foram mencionados com maior frequência pelos participantes do questionário, em quantidade igual ou maior que todos os outros conteúdos dispostos no questionário. Dessa forma, os resultados indicam que esses conteúdos da Engenharia de Software Verde são os mais presentes nos cursos analisados de graduação em Engenharia de Software.

A partir da análise dos dados obtidos por meio do questionário, observou-se que os conteúdos menos identificados nas disciplinas dos cursos de graduação em Engenharia de Software selecionados também foram pouco mencionados pelos participantes do questionário. Em relação às respostas do questionário, os dados indicam que tais conteúdos possuem poucas (três ou menos) ocorrências.

7 AMEAÇAS À VALIDADE

Ameaça à Validade Interna. Inicialmente, destaca-se que as análises das disciplinas e dos documentos dos cursos foram realizadas de forma interpretativa. Para minimizar o risco de vieses de interpretações, todas as análises realizadas por dois dos autores foram verificadas pelos demais.

Ademais, ressalta-se a impossibilidade de verificar a identidade dos respondentes dos questionários, uma vez que a sua identificação poderia gerar resistência em participar da pesquisa. Assim, não foi possível utilizar o questionário para validar análise do respectivo currículo, feita pelos autores deste trabalho. As respostas

dos questionários foram úteis apenas para ter uma visão geral dos respondentes sobre o tema.

Ameaça à Validade Externa. Ressalta também que, embora tenham sido convidados vários coordenadores de cursos de graduação em Engenharia de Software e professores da área para participação nas etapas do questionário e entrevistas, o número de participações foi aquém do esperado, o que pode prejudicar na generalização dos resultados obtidos.

Ameaça à Validade por Conclusão. Vale ressaltar que foram avaliados um total de 63 cursos presenciais de graduação em Engenharia de Software, mas apenas nove participantes responderam ao questionário, resultando em amostras numéricas diferentes e possivelmente justificando as diferenças encontradas em relação aos resultados das análises. Além disso, as discrepâncias também podem ser explicadas por possíveis diferenças de interpretação entre os participantes e os autores do presente trabalho.

Ameaça à Validade por Construção. Durante a análise do segundo grupo de cursos de graduação em Engenharia de Software, não foi possível afirmar se havia algum conteúdo relacionado à Engenharia de Software Verde apenas pelos nomes das disciplinas. No entanto, foi possível identificar disciplinas relacionadas à sustentabilidade por meio dos nomes que as mesmas apresentavam. Ademais, é possível que outras disciplinas, com nomes que não sejam diretamente relacionados à sustentabilidade, abordem o tema em suas ementas.

Alguns dos cursos analisados não disponibilizaram os PPCs ou ementas necessárias para a análise dos cursos, o que exigiu uma análise mais simplificada das disciplinas dos cursos referentes ao segundo grupo. Isso pode ter comprometido a identificação de disciplinas que contêm conteúdo relacionado à Engenharia de Software Verde.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta os resultados de: uma revisão sistemática de literatura para identificar quais foram os conteúdos propostos pela literatura em relação à Engenharia de Software Verde; uma análise manual de currículos e PPCs para verificar a presença desses conteúdos em cursos de Engenharia de Software; coleta de dados por meio de questionário para verificar a presença desses conteúdos nos currículos e por meio de entrevista para entender a visão de docentes em relação ao tema; e sugestões para inclusão de tais conteúdos nos currículos. Assim, as contribuições do trabalho incluem uma lista de conteúdos relacionados à Engenharia de Software Verde, uma relação de quais conteúdos estão presentes nos currículos dos cursos de graduação presenciais em Engenharia de Software, uma exposição das maiores dificuldades para que tal tema seja incluído nos currículos, e algumas sugestões para incluir conteúdos de Engenharia de Software Verde nos cursos.

Cabe destacar que não foram encontrados trabalhos que realizassem estudos relacionados no contexto brasileiro. Assim, os resultados apresentados por este artigo podem contribuir para que instituições de ensino superior possam identificar possibilidades para inclusão do tema em projetos pedagógicos.

Nos resultados obtidos, foi observada a predominância de conteúdos teóricos referentes à Engenharia de Software Verde nas

disciplinas dos cursos de graduação em Engenharia de Software, de modo que os mesmos não abrangem de forma prática as técnicas necessárias para a construção, uso, manutenção e gerenciamento de softwares com o objetivo de reduzir o consumo de energia, incentivar a sustentabilidade direta ou indiretamente em seus usuários, gerir projetos com foco na sustentabilidade para negócios e sociedade e implementar mudanças de processos dentro da Engenharia de Software, a fim de criar uma cultura sustentável a médio e longo prazo nas instituições de ensino e nos currículos dos cursos. Com as entrevistas, foi possível perceber que, embora alguns profissionais e instituições de ensino reconheçam a importância da Engenharia de Software Verde nos cursos de graduação em Engenharia de Software, essa compreensão ainda não é compartilhada por todos.

Dentre as sugestões para incluir conteúdos da Engenharia de Software Verde nos currículos, pode-se citar iniciativas de pesquisa e outras atividades que compõem a formação do aluno voltadas para sustentabilidade na Engenharia de Software. É importante criar disciplinas multidisciplinares que se conectem entre si para abordar questões relacionadas ao mercado de TI e empresas relacionando-as com a sustentabilidade. Também é relevante promover discussões baseadas em cenários relacionados à Engenharia de Software Verde, gerando debates sobre a sustentabilidade das soluções, envolvendo linguagens de programação, arquiteturas, infraestrutura de armazenamento e hospedagem, e formas de prolongar a vida útil dos dispositivos. É possível também incluir a criação de projetos educativos voltados para a sustentabilidade nas disciplinas lecionadas e organização de eventos de tecnologia abordando o tema. Também, propõe-se incentivar os alunos a trazerem discussões sobre sustentabilidade para as aulas, com o intuito de despertar o interesse por essa vertente da Engenharia de Software. E, por fim, as disciplinas que contêm termos *otimização e eficiência* em suas ementas, permitem que sejam incentivadas discussões durante as aulas, voltadas para o tema da sustentabilidade.

Importante ressaltar que, embora o foco deste trabalho tenha sido em cursos de Engenharia de Software, vários dos resultados obtidos são úteis para inclusão de conteúdos relacionados à sustentabilidade, em cursos da área de Computação, no geral.

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de estudos para identificar novos conteúdos relacionados à Engenharia de Software Verde propostos na literatura e a aplicação de método semelhante ao adotado neste trabalho, considerando outros cursos da área de Computação. Importante também analisar o tipo de instituição que mais tem abordado disciplinas nessa área, se há diferenças entre públicas e privadas. Recomenda-se também coletar informações junto aos corpos docentes para verificar a evolução desse tema ao longo do tempo. Sugere-se, ainda, propor a discussão sobre como abordar a sustentabilidade também em projetos de extensão e pesquisa dos cursos de graduação da área de Computação, no geral. Por fim, seria interessante verificar a presença desses conteúdos também em cursos de pós-graduação, para identificar lacunas e desafios a serem explorados nessa área.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os coordenadores de curso e professores que contribuíram para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Siti Ahmad Ibrahim. 2021. Green Software Process Assessment: The Theoretical Framework. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)* 12, 2011–2016.
- [2] Youseef Alotaibi. 2021. Investigating the Higher Education Curriculum for Sustainable Software Development. *International Journal of Computing and Digital Systems* 10, 605–611.
- [3] Matheus Ataide, Gustavo Silva, Cleiton Tavares, Laerte Xavier, and Lucila Ishitani. 2024. Conteúdos de Engenharia de Software Verde em Cursos de Graduação em Engenharia de Software. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10615004>.
- [4] Clodis Boscaroli, Renata Mendes de Araujo, Rita Suzana Maciel, Valdemar Vicente Graciano Neto, Flavio Oquendo, Elisa Yumi Nakagawa, Flavia Cristina Bernardino, José Viterbo, Dalessandro Vianna, Carlos Bazilio Martins, et al. 2017. *I GranDSI-BR – Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016–2026*. Special Committee on Information Systems (CE-SI). Brazilian Computer Society (SBC). 184 pages.
- [5] Coral Calero, Javier Mancebo, Félix García, María Ángeles Moraga, José Alberto García Berná, José Luis Fernández-Alemán, and Ambrosio Toval. 2020. 5Ws of green and sustainable software. *Tsinghua Science and Technology* 25, 3, 401–414.
- [6] João Henrique Paulino Pires Eustachio, Adriana Cristina Ferreira Caldana, Lara Bartocci Liboni, and Dante Pinheiro Martinelli. 2019. Systemic indicator of sustainable development: Proposal and application of a framework. *Journal of Cleaner Production* 241, 118383.
- [7] Uwe Flick. 2009. *Introdução à pesquisa qualitativa* (3 ed.). Artmed, Porto Alegre.
- [8] Timo Johann, Markus Dick, Eva Kern, and Stefan Naumann. 2011. Sustainable development, sustainable software, and sustainable software engineering: An integrated approach. In *2011 International Symposium on Humanities, Science and Engineering Research*. 34–39.
- [9] Barbara Kitchenham. 2004. Procedures for Performing Systematic Reviews. *Keele, UK, Keele Univ.* 33.
- [10] Alexandra Klimova and Eric Rondeau. 2017. Education for cleaner production in Information and Communication Technologies curriculum. *IFAC-PapersOnLine* 50, 1, 12931–12937. 20th IFAC World Congress.
- [11] Carolina Machado and João Paulo Davim. 2022. *Higher Education for Sustainable Development Goals*. CRC Press.
- [12] Sara S Mahmoud and Imtiaz Ahmad. 2013. A green model for sustainable software engineering. *International Journal of Software Engineering and Its Applications* 7, 4, 55–74.
- [13] Muhammad Malik, Huma Khan, Abdoulmohammad Gholamzadeh Chofreh, Feybi Goni, Jiri Klemeš, and Youseef Alotaibi. 2019. Investigating Students' Sustainability Awareness and the Curriculum of Technology Education in Pakistan. *Sustainability* 11, 1–18.
- [14] Irene Manotas, Christian Bird, Rui Zhang, David Shepherd, Ciera Jaspán, Caitlin Sadowski, Lori Pollock, and James Clause. 2016. An Empirical Study of Practitioners' Perspectives on Green Software Engineering. In *Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering (Austin, Texas) (ICSE '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 237–248.
- [15] C Marimuthu and K Chandrasekaran. 2017. Software engineering aspects of green and sustainable software: A systematic mapping study. In *Proceedings of the 10th Innovations in Software Engineering Conference*. 34–44.
- [16] Rohit Mehra, Vibhu Saujanya Sharma, Vikrant Kaulgud, Sanjay Podder, and Adam P. Burden. 2022. Towards a Green Quotient for Software Projects. In *2022 IEEE/ACM 44th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP)*. 295–296.
- [17] Microsoft Microsoft Learn. 2023. Os princípios da Engenharia de Software Sustentável. <https://learn.microsoft.com/pt-br/training/modules/sustainable-software-engineering-overview>, accessed 2022-12-04.
- [18] Ministério da Educação. 2016. Diretrizes Curriculares - Cursos de Graduação. http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=52101-rces005-16-pdf&category_slug=novembro-2016-pdf&Itemid=30192, accessed 2023-04-29.
- [19] Alok Mishra and Deepti Mishra. 2020. Sustainable Software Engineering Education Curricula Development. *International Journal of Information and Computer Security* 12, 47–56.
- [20] Alok Mishra and Deepti Mishra. 2021. *Sustainable Software Engineering: Curriculum Development based on ACM/IEEE Guidelines*.
- [21] Alok Mishra, Ali Yazici, and Deepti Mishra. 2012. Green Information Technology/ Information System Education: Curriculum Views. *Technics Technologies Education Management* 7, 679–686.
- [22] Brunna C Mourão, Leila Karita, and Ivan do Carmo Machado. 2018. Green and sustainable software engineering-a systematic mapping study. In *Proceedings of the XVII Brazilian Symposium on Software Quality*. 121–130.
- [23] Elimar Pinheiro do Nascimento. 2012. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. *Estudos Avançados* 26, 74, 51–64.
- [24] V.P.A. Neris, K.R.H. Rodrigues, and J.B. Silva. 2014. *I GranDIHC-BR – Grandes Desafios de Pesquisa em Interação Humano-Computador no Brasil*. Relatório

- Técnico*. Comissão Especial de Interação HumanoComputador (CEIHC) da Sociedade Brasileira de Computação (SBC), Chapter Futuro, Cidades Inteligentes e Sustentabilidade, 16–18.
- [25] Vânia P. A. Neris, K. H. Rodrigues, R. R. Oliveira, and N. Galindo Junior. 2020. *Computação e Sociedade: A sociedade - Volume 2 (1ª ed.)*, Vol. 2. Cuiabá MT: EdUFMT Digital, Chapter Sustentabilidade e computação, 175–204.
- [26] Muhammad Salam and Siffat Ullah Khan. 2016. Developing green and sustainable software: Success factors for vendors. In *2016 7th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*. 1059–1062.
- [27] João Saraiva, Ziliang Zong, and Rui Pereira. 2021. Bringing Green Software to Computer Science Curriculum: Perspectives from Researchers and Educators. In *Proceedings of the 26th ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education V. 1 (Virtual Event, Germany) (ITICSE '21)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 498–504.
- [28] Satendar Singh, Akhilesh Tiwari, Sanjay Rastogi, and Vaibhav Sharma. 2021. Green and Sustainable Software Model for IT Enterprises. In *2021 5th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*. 1157–1161.
- [29] D. Sumathi and S. Sudhakara Reddy. 2018. Sustainable education development in Engineering Institutions. In *2018 World Engineering Education Forum - Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC)*, 1–5.
- [30] Damiano Torre, Giuseppe Procaccianti, Davide Fucci, Sonja Lutovac, and Giuseppe Scanniello. 2017. On the Presence of Green and Sustainable Software Engineering in Higher Education Curricula. In *2017 IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering Curricula for Millennials (SECM)*. 54–60.
- [31] Cristina Trois, Rudi Kimmie, and Vittorio Tramontin. 2017. Promoting Synergies Between Sustainable Development Principles And Engineering Education. In *2017 7th World Engineering Education Forum (WEEF)*. 6–10.
- [32] TRVST World. 2022. Negative Impact of Technology on the Environment. <https://www.trvst.world/environment/negative-impact-of-technology-on-the-environment/>. Accessed: 2023-05-31.
- [33] Igor Turkin and Yuliya Vykhodets. 2019. *Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications*. Springer International Publishing, Cham, Chapter Software Engineering Sustainability Education in Compliance with Industrial Standards and Green IT Concept, 579–604.
- [34] S. Venkata Mohan, G.N. Nikhil, P. Chiranjeevi, C. Nagendranatha Reddy, M.V. Rohit, A. Naresh Kumar, and Omprakash Sarkar. 2016. Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives. *Bioresource Technology* 215, 2–12. Waste Biorefinery - Advocating Circular Economy.
- [35] Neeta Verma and Varsha Jotwani. 2022. Green Based Software Engineering Approach for Sustainable Protocol. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* 10, 3612–3620.
- [36] Márcio Welter, Fabiane Barreto Vavassori Benitti, and Marcello Thiry. 2014. Green metrics to software development organizations: A systematic mapping. In *2014 XL Latin American Computing Conference (CLEI)*. IEEE, 1–7.