UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE - ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE



ANÁRYA TERESA DE FREITAS ROCHA

O PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA NA EDUCAÇÃO: UM MODELO PARA A INTEGRAÇÃO CURRICULAR EM CURSOS DE ENGENHARIA

TERESINA – PI
2024

ANÁRYA TERESA DE FREITAS ROCHA

O PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA NA EDUCAÇÃO: UM MODELO PARA A INTEGRAÇÃO CURRICULAR EM CURSOS DE ENGENHARIA

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como requisito para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora:
Profa. Dra. Elaine Aparecida da Silva

Coorientadora:
Profa. Dra. Nathalie Barbosa Reis Monteiro

TERESINA - PI

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Sistema de Bibliotecas UFPI - SIBi/UFPI
Biblioteca Setorial do CCN

R672p Rocha, Anárya Teresa de Freitas.
O pensamento do ciclo de vida na educação: um modelo para a integração curricular em cursos de engenharia / Anárya Teresa de Freitas Rocha. -- 2024.
175 f. : color.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Piauí. Centro de Ciências da Natureza. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina, 2024.
"Orientadora: Profa. Dra. Elaine Aparecida da Silva. Coorientadora: Profa. Dra. Nathalie Barbosa Reis Monteiro."

1. Abordagem sistêmica - PCV. 2. Ensino Superior. 3. Interdisciplinaridade. 4. Curriculo educacionaal. I. Silva, Elaine Aparecida da. II. Monteiro, Nathalie Barbosa Reis. II. Título.

CDD 630

Bibliotecária: Caryne Maria da Silva Gomes - CRB3/1461

ANÁRYA TESESA DE FREITAS ROCHA

O PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA NA EDUCAÇÃO: UM MODELO PARA A INTEGRAÇÃO CURRICULAR EM CURSOS DE ENGENHARIA

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como requisito para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Planejamento, gestão e políticas socioambientais.

Aprovada em: 12/07/2024.

BANCA EXAMINADORA

Elaine Aparecida da Silva

Profa. Dra. Elaine Aparecida da Silva
(Presidente e Orientadora)

gov.br Documento assinado digitalmente
MARIA JOSE NASCIMENTO SOARES
Data: 15/07/2024 14:17:30-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Maria José Nascimento Soares
(Membro Externo à Instituição – UFS)

Maria do Socorro Monteiro Carcará

Profa. Dra. Maria do Socorro Monteiro Carcará
(Membro Externo à Instituição – ESTÁCIO)

Maria de Jesus dos Santos

Profa. Dra. Maria de Jesus dos Santos
(Membro Interno à Instituição – UFPI)

Profa. Dra. Giovana Mira de Espíndola
(Membro Interno ao curso – PRODEMA/UFPI)

à minha família,

meu apoio e fonte de amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha eterna gratidão por seu imenso amor e por me dar forças para trilhar este caminho repleto de desafios. Foram muitas provações, mas olho para trás com orgulho por não ter desistido. “Maior que os meus medos, do que a minha dor é o Teu amor por mim, Senhor!” Até aqui Deus me sustentou. Como disse Santa Teresa D’Ávila, “É justo que muito custe o que muito vale.

Ao meu esposo, Felipe Barbosa, pela paciência, pelo cuidado diário e por estar sempre ao meu lado. Agradeço pelos incentivos constantes e por acreditar no meu potencial, sempre me encorajando a buscar o melhor caminho. O seu apoio incondicional foi essencial em cada passo dessa jornada, especialmente nos momentos mais desafiadores. Você conhece bem cada batalha que enfrentei. Eu te amo!

Aos meus amados pais, Ana Maria e Adão, minha eterna fonte de amor, apoio e fortaleza. Como é reconfortante saber que, sempre que a tristeza ou o desânimo me alcançavam, eu tinha para onde correr, aquele abraço que é lar, que acolhe e protege. Obrigada por sempre priorizarem os meus estudos ao longo da vida. Hoje, com orgulho, posso dizer que sou fruto da escola pública. Apesar das dificuldades, vocês sempre se mostraram animados e orgulhosos a cada conquista minha. Pai e mãe, minha vitória é também de vocês! Agora vocês podem dizer que têm uma filha doutora. Amo vocês!

À minha querida irmã Ananda, por compreender minhas ausências, pelos momentos de alegria e diversão, e, acima de tudo, por estar sempre ao meu lado. Não há nada melhor do que ter alguém em quem podemos confiar. Amo nossos momentos juntas, nossas longas conversas; você é e sempre foi uma grande admiradora da pessoa que me tornei. Obrigada por me proporcionar uma das maiores alegrias da vida: ser tia. O Valentim é uma bênção em nossas vidas! Estaremos sempre unidas. Eu amo vocês!

À minha orientadora, Profa. Dra. Elaine Silva, expresso minha gratidão pela confiança depositada em minha capacidade de conduzir esta pesquisa. Agradeço pelo tempo dedicado à minha orientação, pela paciência e por sempre estimular meu pensamento crítico nos momentos necessários.

À minha coorientadora e amiga, Profa Dra Nathalie Monteiro, pelos valiosos ensinamentos e, principalmente, pela amizade construída com muito carinho. De coração, muito obrigada!

Aos demais professores do PRODEMA-UFPI, agradeço pelos ensinamentos compartilhados ao longo da jornada. Em especial, ao Prof. Dr. José Machado Moita Neto, pelas

valiosas contribuições no início da pesquisa. Agradeço também a todos os membros da banca pela disponibilidade em analisar a pesquisa e pelas contribuições que ajudaram a aprimorar a Tese em cada etapa. Professores(as): Breno Barros, Francisco Soares, Giovana Espíndola, Socorro Carcará, Francisca Carla Oliveira, Maria de Jesus Santos, Maria José Soares, Kelly Polyana, Edson Vicente, Edna Maria, meu sincero agradecimento a todos vocês!

À Universidade Federal do Piauí, por ter sido minha segunda casa ao longo de muitos anos, desde 2007, quando ingressei no Colégio Técnico de Floriano, até o momento de conclusão do doutorado. Tenho imenso orgulho de ter escolhido esta instituição para minha trajetória acadêmica.

Às coordenações dos cursos de Engenharia de Materiais, de Produção, Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Piauí pelo fornecimento dos dados para a pesquisa.

À turma do doutorado 2019-2023, agradeço pelos momentos de troca de conhecimentos e pelos momentos de lazer compartilhados. Em especial, gostaria de agradecer aos meus queridos amigos(as): Paulo Gustavo (carinhosamente chamado de PG, sempre nos encantando com seus lindos poemas e seu talento), Regiglaúcia (minha parceira de viagens, que tornou os momentos das disciplinas fora muito especiais), Karen (sempre atenta aos detalhes), Suely (minha amiga de voz doce e acolhedora), Neila Tanísia (a artista da turma), Simone (por seus conselhos valiosos e por sua trajetória admirável no curso), e José Santana (conhecido como Zezinho, o expert no regimento do curso, que sempre nos ajudou com suas respostas pacientes às nossas perguntas: 'Zezinho, como se resolve isso?'). Gratidão a todos vocês, meus amigos!"

A todos os meus familiares, agradeço pelo cuidado constante e pelo interesse em acompanhar meus avanços, compreendendo minhas ausências. Quando estamos todos juntos, adoramos fazer uma roda e conversar tomando café, e esses momentos são verdadeiramente terapêuticos para mim. Obrigada por me fazerem sentir bem e por me ajudarem a desconectar quando necessário. Em especial, gostaria de agradecer à minha avó Teresa, a quem carrego com muito orgulho em meu nome. Vó, a senhora é doçura, amor, humildade e aconchego, uma verdadeira bênção em minha vida. Os dias ao seu lado são, sem dúvida, os mais especiais.

À minha sogra, Clélia Jane Queiroz, agradeço por todo o seu cuidado e por me tratar sempre como filha, com atenção e preocupação constantes. Obrigada pelas ligações para saber se estava tudo bem e se eu precisava de alguma coisa, sempre pronta para resolver qualquer situação. Sua ajuda foi fundamental e sou muito grata por isso. Também quero expressar minha gratidão à minha cunhada Thais e à Dona Aristea Vilar, que sempre me acolheu com um carinho de vó.

Às minhas amigas-irmãs, Naiara e Jaqueline, as mamães das Marias, minhas queridas sobrinhas Maria Eduarda e Maria Isis, agradeço de coração por estarem sempre prontas a me ouvir. Mesmo à distância, vocês se fazem presentes em minha vida. A Biologia nos uniu, e hoje posso dizer com certeza que tenho em quem confiar. Agradeço também ao meu compadre Ricardo, por todos os momentos de descontração. Vocês são muito especiais para mim!

À minha "mãe científica", Profa. Dra. Maria Regiane, que me acompanhou desde a graduação até o mestrado, minha gratidão. Sempre pensando no melhor para minha trajetória acadêmica, você me inspirou com sua história de vida, repleta de lutas e superação. Além de uma ótima orientadora, tornou-se uma grande amiga. Muito obrigada!

Ao meu amigo Caíque, sou grata por sua amizade e auxílio durante o período de escrita da Tese. Foi muito bom ter um amigo pesquisador como você, que me apoiou e ajudou em momentos importantes. Saiba que você pode contar sempre comigo! Muito obrigada!

À minha amiga Katiúscia, agradeço por me auxiliar em muitos momentos de dúvida e por sua torcida constante, sempre acreditando que tudo ia dar certo. Obrigada por sua amizade e apoio. Conheci muitas pessoas especiais em Teresina, e você foi, sem dúvida, uma delas.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa—Júlia, Stênio, Maria Alice e Ítalo—, agradeço pelas trocas de experiências tão produtivas. As indicações de referências, sugestões sobre apresentações e os diversos *e-mails* discutindo assuntos acadêmicos foram enriquecedores. Muito obrigada por toda a colaboração!

Aos meus colegas do CETI Antônio Borges Leal, onde estudei todo o Ensino Fundamental II e tive a alegria de retornar como funcionária, gostaria de expressar minha gratidão. Meus professores de outrora tornaram-se meus colegas de trabalho, e foi um prazer imenso compartilhar esse tempo com vocês.

À minha amiga Selinha, mamãe da princesa Júlia, agradeço a amizade verdadeira e conectada, construída em tão pouco tempo. Seus incentivos diários foram importantes nos momentos de desânimo, sempre com sua atitude positiva e encorajadora. Suas palavras, 'Eu sei que você consegue, amiga. Vai dar tudo certo,' foram uma fonte de motivação. Muito obrigada por tudo!

Aos colegas do CETI Professor José Amável, em especial à Valéria Camêlo, que sempre orou por mim e pelo meu progresso, e que também me ajudou com traduções de resumos para o espanhol. Agradeço também a Valéria Assunção, Adriana, Francisco, Noélia, Nilton, Marcílio, Iasmara, Camilo e Márcia pelas conversas descontraídas na sala dos professores durante os intervalos. Ser professor em tempo integral não é nada fácil, mas vocês tornam o

ambiente mais leve e divertido. Um agradecimento especial à minha querida coordenadora, Ana Paula, pelas mensagens de motivação e apoio constantes.

Agradeço de coração a todos que estiveram ao meu lado, torcendo e me incentivando ao longo desta jornada. Cada palavra de apoio e gesto de carinho foram essenciais para a realização deste sonho. Sozinha, teria sido apenas um desejo distante; com vocês, tornou-se realidade. Como sempre acreditei: "O melhor está sempre acontecendo!

Se a educação não for provocativa,
não constrói, não se cria,
não se inventa, só se repete.
(Mário Sérgio Cortella)

RESUMO

O Pensamento do Ciclo de Vida (PCV) é uma abordagem sistêmica que analisa os impactos ambientais, sociais e econômicos de um produto, serviço ou processo ao longo de seu ciclo de vida. Sua incorporação no contexto educacional promove uma compreensão interdisciplinar. No entanto, sua implementação é limitada, com ênfase na Avaliação do Ciclo de Vida. Isso destaca a necessidade de um modelo de integração curricular para fornecer orientações de forma abrangente. Nesta pesquisa, objetivou-se fornecer subsídios às instituições de ensino para a implementação da abordagem do PCV na formação educacional, visando sua integração nos currículos de cursos de graduação. A pesquisa foi desenvolvida em três cursos de graduação da Universidade Federal do Piauí, sendo Engenharia de Materiais, Engenharia de Produção e Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. A pesquisa foi conduzida conforme as seguintes etapas: (1) mapeamento dos currículos dos cursos, através da análise dos Projetos Pedagógicos dos Cursos, utilizando a análise de conteúdo, e o mapeamento dos planos de disciplinas, empregando uma ferramenta de análise "roteiro"; (2) observação da prática docente na disciplina obrigatória Ciências do Ambiente; (3) elaboração de um modelo de integração curricular baseado no PCV, com diretrizes teóricas e práticas; e (4) seleção de disciplinas para proposição de aulas. A análise dos PPC aponta elementos associados ao PCV e seu potencial para inclusão nos currículos, revelando similaridades e diferenças. Embora todos reconheçam a importância da responsabilidade social e ambiental, e da visão sistêmica e global, cada curso adapta esses princípios às suas áreas específicas de atuação, destacando preocupações específicas, como o ciclo de vida dos materiais, o desenvolvimento sustentável regional e a gestão de sistemas produtivos. A análise também evidencia a importância do pensamento crítico, da formação multidisciplinar e da capacidade de solucionar problemas complexos. No curso de Eng. de Materiais, destacam-se disciplinas: Aditivação e Degradação de Polímeros e Biomateriais (química verde); Reciclagem de Materiais e Ciências do Ambiente (gestão ambiental). Na Eng. de Produção destacam-se disciplinas: Logística e Cadeia de Suprimentos (logística reversa); Ciências do Ambiente (aspectos ambientais); Ergonomia e Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho (impactos sociais); e Projeto do Produto e do Processo (ciclo de vida do produto). A observação das práticas docentes na disciplina de Ciências do Ambiente, relevou variações na implementação da abordagem do PCV entre os docentes, com o Docente A adotando uma abordagem mais abrangente em contraste com o Docente B, que implementou de forma pontual. Os desafios para a implementação do PCV incluem um esforço colaborativo entre instituições de ensino, professores e outros atores educacionais, incluindo investimentos em formação docente, desenvolvimento curricular e recursos adequados para apoiar práticas interdisciplinares. O modelo de integração curricular proposto envolve duas etapas: apropriação docente e discente. A trajetória docente inclui exposição inicial, formação contínua e compreensão do tema. A trajetória discente foca na aplicação prática, visando o desenvolvimento de habilidades nos estudantes alinhadas com a perspectiva do PCV. Também foram propostos quinze temas de aulas para diferentes disciplinas dos cursos. Em síntese, os resultados da pesquisa fornecem subsídios para as instituições de ensino e professores, a fim de orientar a implementação do PCV nos currículos educacionais. Isso contribui para a formação de engenheiros, ampliando as habilidades técnicas e os capacitando a liderar soluções sustentáveis e inovadoras, alinhadas com os desafios da crise ambiental, garantindo assim um impacto positivo a longo prazo na sociedade e no meio ambiente.

Palavras-chave: abordagem sistêmica; currículos; interdisciplinaridade; ciclo de vida; guia didático.

ABSTRACT

Life Cycle Thinking (LCT) is a systemic approach that analyzes a product, service, or process's environmental, social, and economic impacts throughout its life cycle. Its incorporation into the educational context promotes an interdisciplinary understanding. However, its implementation is limited, emphasizing Life Cycle Assessment. This highlights the need for a comprehensive curricular integration model to guide the integration thoroughly. This research aimed to support educational institutions in implementing the LCT approach in educational training, aiming for its integration into undergraduate course curricula. The research was conducted in three undergraduate courses at the Federal University of Piauí: Materials Engineering, Production Engineering, and Cartographic and Surveying Engineering. The research was conducted according to the following steps: (1) mapping the course curricula through the analysis of the Pedagogical Projects of the Courses (PPC) using content analysis, and mapping the course plans using a "script" analysis tool; (2) observing the teaching practice in the mandatory Environmental Science course; (3) developing a curricular integration model based on LCT, with theoretical and practical guidelines; and (4) selecting courses for proposing lessons. The PPC analysis identifies elements associated with LCT and its potential for inclusion in the curricula, revealing similarities and differences. While all courses recognize the importance of social and environmental responsibility and a systemic and global perspective, each course adapts these principles to their specific areas of expertise, highlighting specific concerns such as the life cycle of materials, regional sustainable development, and the management of production systems. The analysis also highlights the importance of critical thinking, multidisciplinary training, and the ability to solve complex problems. In the Materials Engineering course, some subjects include Polymer Additives and Degradation and Biomaterials (green chemistry), Recycling of Materials and Environmental Sciences (environmental management). In Production Engineering, some subjects include Logistics and Supply Chain (reverse logistics); Environmental Sciences (environmental aspects); Ergonomics and Occupational Health, Safety, and Hygiene (social impacts); and Product and Process Design (product life cycle). The observation of teaching practices in the Environmental Sciences course revealed variations in the implementation of the LCT approach among the professors, with Professor A adopting a more comprehensive approach in contrast to Professor B, who implemented it in a more limited manner. The challenges for implementing LCT include collaborative efforts between educational institutions, teachers, and other educational stakeholders, as well as investments in teacher training, curriculum development, and adequate resources to support interdisciplinary practices. The proposed curricular integration model involves two stages: teacher and student engagement. The teacher's trajectory includes initial exposure, continuous training, and understanding of the topic. The student's trajectory focuses on practical application, aiming to develop skills in students aligned with the LCT perspective. Fifteen lesson topics were also proposed for different courses. In summary, the research results support educational institutions and teachers to guide the implementation of LCT in educational curricula. This contributes to the training of engineers, expanding their technical skills and enabling them to lead sustainable and innovative solutions, aligned with the challenges of the environmental crisis, thereby ensuring a positive long-term impact on society and the environment.

Keywords: systemic approach; curricula; interdisciplinarity; life cycle; teaching guide.

RESUMEN

El Pensamiento del Ciclo de Vida (PCV) es un enfoque sistémico que analiza los impactos ambientales, sociales y económicos de un producto, servicio o proceso a lo largo de su ciclo de vida. Su incorporación al contexto educativo promueve la comprensión interdisciplinaria. Sin embargo, su implementación es limitada, con énfasis en la Evaluación del Ciclo de Vida. Esto destaca la necesidad de un modelo de integración curricular para fornecer orientaciones de forma amplia. En esta investigación, tuvo como objetivo proveer subsidios a instituciones educativas para la implementación del enfoque PCV en la formación educativa, con vistas su integración en los planes de estudios de graduación. La investigación se desarrolló en tres carreras de graduación de la Universidad Federal de Piauí: Ingeniería de Materiales, Ingeniería de Producción e Ingeniería Cartográfica y Agrimensura. La investigación fue conducida de acuerdo con las siguientes etapas: (1) mapeo de los planes de estudio de los cursos, a través del análisis de los Proyectos Pedagógicos de los Cursos, utilizando análisis de contenido, y mapeo de los planes de asignaturas, utilizando una herramienta de análisis de "guión"; (2) observación de la práctica docente en la asignatura obligatoria Ciencias Medioambientales; (3) desarrollo de un modelo de integración curricular basado en el PCV, con directrices teóricas y prácticas; y (4) selección de asignaturas para proponer clases. El análisis de los PPC apunta elementos asociados con el PCV y su potencial de inclusión en los planes de estudio, revelando similitudes y diferencias. Aunque todos reconocen la importancia de la responsabilidad social y ambiental, y de una visión sistémica y global, cada curso adapta estos principios a sus áreas específicas de actuación, destacando preocupaciones específicas, como el ciclo de vida de los materiales, el desarrollo sostenible regional y la gestión de sistemas productivos. El análisis también evidencia la importancia del pensamiento crítico, la formación multidisciplinar y la capacidad de solucionar de problemas complejos. En la carrera de Ingeniería de Materiales se destacan asignaturas con los siguientes temas: Aditivación y Degradación de Polímeros y Biomateriales (química verde); Reciclado de Materiales y Ciencias Ambientales (gestión ambiental). En Ingeniería de Producción se destacan las siguientes disciplinas: Logística y Cadenas de Suministros (logística inversa); Ciencias Medioambientales (aspectos ambientales); Ergonomía e Higiene, Salud y Seguridad en el Trabajo (impactos sociales); y Diseño de Productos y Procesos (ciclo de vida del producto). La observación de las prácticas docentes en la asignatura de Ciencias Medioambientales, reveló variaciones en la implementación del enfoque PCV entre los docentes, siendo el Docente A adoptó un enfoque más integral en contraste con el Docente B, que lo implementó de forma puntual. Los desafíos para implementación del PCV incluyen un esfuerzo colaborativo entre instituciones educativas, profesores y otros actores educativos, incluidas inversiones en capacitación docente, desarrollo curricular y recursos adecuados para apoyar prácticas interdisciplinarias. El modelo de integración curricular propuesto involucra dos etapas: apropiación docente y estudiantil. La trayectoria docente incluye exposición inicial, formación continua y comprensión del tema. La trayectoria estudiantil se enfoca en la aplicación práctica, buscando desarrollar habilidades en los estudiantes alineadas con la perspectiva PCV. También se propusieron quince temas de clase para diferentes asignaturas del curso. En síntesis, los resultados de la investigación suministran subsidios para las instituciones educativas y a los profesores, con el fin de orientar la implementación del PCV en los currículos educativos. Esto contribuye a la formación de ingenieros, ampliando habilidades técnicas y capacitándolos para liderar soluciones sostenibles e innovadoras, alineadas con los desafíos de la crisis ambiental, garantizando así un impacto positivo a largo plazo en la sociedad y el medio ambiente.

Palabras clave: enfoque sistémico; planes; interdisciplinariedad; ciclo de vida; guía didáctica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Capturas de tela do aplicativo Idemat.....87

Figura 2. Capturas de tela do aplicativo Sprecometro *(Pizza Margherita)*.....89

Figura 3. Capturas de tela do aplicativo Sprecometro *(Roast Beef)*.....89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Termos de busca usados na Google Play Store para pesquisar aplicativos com a perspectiva do pensamento do ciclo de vida.....47

Tabela 2. Síntese da estrutura curricular dos cursos de engenharia.....49

Tabela 3. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na disciplina "Aditivação e Degradação de Polímeros" do curso de Engenharia de Materiais.....66

Tabela 4. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na disciplina "Logística e Cadeia de Suprimentos" do curso de Engenharia de Produção.....69

Tabela 5. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na disciplina "Pavimentação Engenharia" do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.....72

Tabela 6. Modelo de integração curricular para implementação do Pensamento do Ciclo de Vida.....83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Experiências de implementação do Pensamento do Ciclo de Vida no ensino formal.....32

Quadro 2. Tipos de metodologias ativas de ensino-aprendizagem.....37

Quadro 3. Taxonomia de Bloom Revisada.....39

Quadro 4. Abordagens relacionadas ao Pensamento do Ciclo de Vida.....43

Quadro 5. Roteiro elaborado para análise dos elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida nas disciplinas dos cursos de Engenharia.....44

Quadro 6. Taxonomia de Bloom Revisada alinhada ao Pensamento do Ciclo de Vida.....48

Quadro 7. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 1 (Consideração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos, éticos e/ou políticos pelos engenheiros) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia.....53

Quadro 8. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 2 (Integração dos princípios da sustentabilidade nas atividades de engenharia) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia.....54

Quadro 9. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 3 (Avaliação dos impactos ambientais, sociais e/ou econômicos e viabilidade das atividades de engenharia) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia.....56

Quadro 10. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 4 (Formação multi e/ou interdisciplinar) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia.....57

Quadro 11. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 5 (Solução de problemas) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia.....58

Quadro 12. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 6 (Solução de problemas) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia.....61

Quadro 13. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 7 (Gestão e análise de produtos, processos e/ou serviços) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia.....62

Quadro 14. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 7 (Tomada de decisão estratégica) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia.....63

Quadro 15. Curso sobre o Pensamento do Ciclo de Vida promovido pela Iniciativa do Ciclo de Vida.....85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ASCV	Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida
ASCV	Avaliação Social do Ciclo de Vida
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CCV	Custeio do Ciclo de Vida
CNI	Confederação Nacional da Indústria
GCV	Gestão do Ciclo de Vida
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ISO	*International Organization for Standardization*
LIBRAS	Língua Brasileira de Sinais
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PCV	Pensamento do Ciclo de Vida
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PI	Piauí
PPC	Projeto Pedagógico dos Cursos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RSAC	Responsabilidade Socioambiental Corporativa
SETAC	*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*
SQG	Sistema de Gestão da Qualidade
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UNEP	*United Nations Environment Programme*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 20
1.1 Objetivos 22
1.2 Justificativa e relevância da pesquisa 23
1.3 Hipóteses 22
2 REFERENCIAL TEÓRICO 27
2.1 Pensamento do Ciclo de Vida: conceito e importância 27
2.2 Implementação da abordagem do Pensamento do Ciclo De Vida no contexto da educação formal 28
2.2.1 Educação para a sustentabilidade 28
2.2.2 Educação Superior 31
2.2.3.1 Cursos de engenharia 33
2.3 Abordagens educacionais que dão suporte à implementação do Pensamento do Ciclo de Vida no processo de ensino-aprendizagem 35
2.3.1 Metodologias ativas de aprendizagem 35
2.3.2 Taxonomia de Bloom 39
3 METODOLOGIA 41
3.1 Caracterização da pesquisa 41
3.2 Procedimentos metodológicos 41
3.2.1 Mapeamento dos currículos 41
3.2.1.1 Mapeamento dos Projetos Pedagógicos do Curso 41
3.2.1.2 Mapeamento das disciplinas do curso 43
3.2.2 Observação da prática docente 46
3.2.3 Elaboração de um modelo de integração curricular baseado no PCV 46
3.2.4 Seleção de disciplinas para proposição de temas de aulas 47
3 DESCRIÇÃO DA MATRIZ CURRICULAR DOS TRÊS CURSOS DE ENGENHARIA 49
5 ELEMENTOS ASSOCIADOS AO PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA NO CURRÍCULO DOS CURSOS DE ENGENHARIA 52
5.1 Análise dos Projetos Pedagógicos dos Cursos 52
5.2 Mapeamento das disciplinas dos cursos de engenharia 64
5.2.1 Engenharia de Materiais 64
5.2.2 Engenharia de Produção 68
5.2.2 Engenharia Cartográfica e de Agrimensura 71
6 A DISCIPLINA CIÊNCIAS DO CIÊNCIAS DO AMBIENTE NAS ENGENHARIAS E REFLEXÕES SOBRE A PRÁTICA DOCENTE 75

7 PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA NA EDUCAÇÃO FORMAL: DESAFIOS E ESTRATÉGIAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO 79

7.1 Desafios para a implementação do PCV 79

7.1.1 Desafios curriculares 79

7.1.2 Desafios pedagógicos 81

7.1.3 Desafios relativos aos alunos 81

7.2 Estratégias para subsidiar à implementação do PCV 82

7.2.1 Trajetória de apropriação docente 84

7.2.2 Trajetória de apropriação discente 86

8 INSPIRAÇÕES PARA A SALA DE AULA: EXPLORANDO O PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA NA ENGENHARIA 91

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS 101

REFERÊNCIAS 104

APÊNDICE A – Mapeamento dos planos de disciplina do curso de Engenharia de Materiais para identificação dos elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida 116

APÊNDICE B – Mapeamento dos planos de disciplina do curso de Engenharia de Produção para identificação dos elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida 120

APÊNDICE C – Mapeamento dos planos de disciplina do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura para identificação dos elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida 124

APÊNDICE D – Manual didático sobre o Pensamento do Ciclo de Vida 128

APÊNDICE E – Ciclo de Vida de Materiais Poliméricos 151

APÊNDICE F – Produtos ergonomicamente adequados 152

APÊNDICE G – Sistema de Gestão da Qualidade em empresas 153

APÊNDICE H – Produtos químicos perigosos e substituições sustentáveis 154

APÊNDICE I – Equipamentos de proteção individual e coletiva 156

APÊNDICE J – Corrosão de materiais metálicos e suas implicações ambientais, sociais e econômicas 158

APÊNDICE K – Termodinâmica de um processo industrial 159

APÊNDICE L – Impacto ambiental de diferentes materiais utilizados em produtos do dia a dia 160

APÊNDICE M – Produtos plásticos "sustentáveis" e sua degradabilidade 161

APÊNDICE N – Produto e processo produtivo com foco no ciclo de vida de materiais 162

APÊNDICE O – Pensamento do ciclo de vida do produto no planejamento e controle da produção 163

APÊNDICE P – Soluções sustentáveis para o saneamento básico: reflexões sociais, ambientais e econômicas.....165
APÊNDICE Q – Abordagem sistêmica para projetos de pavimentação.....167
APÊNDICE R – Avaliação multidimensional de um projeto de transporte.....168
APÊNDICE S – Desafios e oportunidades dos bairros de Teresina-PI.....170
ANEXO A – Matriz Curricular do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Piauí.....173
ANEXO B – Matriz Curricular do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Piauí.....174
ANEXO C – Matriz Curricular do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Piauí.....175

1 INTRODUÇÃO

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – SETAC) têm empreendido esforços para promover o Pensamento do Ciclo de Vida (PCV) a partir da Iniciativa do Ciclo de Vida. Essa iniciativa tem como missão desenvolver e disseminar práticas para avaliar as oportunidades, riscos e conflitos de escolhas associadas a produtos, processos e serviços ao longo de todo o seu ciclo de vida, com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável (*United Nations Environment Programme* - Unep, 2012).

A partir dessa iniciativa, surgiu a perspectiva do PCV, que consiste em uma abordagem sistêmica, através da qual é incentivado o fornecimento de informações aos indivíduos sobre os impactos causados por um produto, serviço ou processo durante todo o seu ciclo de vida, englobando os aspectos econômicos, sociais e ambientais, que constituem o tripé da sustentabilidade (Unep, 2012). Dessa forma, a implementação dessa abordagem permite ampliar a percepção dos potenciais impactos e subsidiar o processo decisório para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis ao longo do ciclo de vida de produtos, processos e serviços.

Entender os impactos potenciais associados a cada escolha é fundamental, pois as consequências de determinada ação não surgem isoladamente e podem influenciar, inclusive, sistemas complexos. Por isso, essa percepção ampliada contribui para evitar a transferência de um impacto em determinada etapa do ciclo de vida para outra (Vianna *et al.*, 2022).

Adotar uma abordagem do ciclo de vida faz com que as pessoas percebam como as suas escolhas influenciam em cada etapa, que inclui desde a extração de matérias-primas até o descarte, podendo identificar as oportunidades e os riscos, equilibrando os impactos de suas escolhas. Assim, se pode pensar em estratégias para otimizar os recursos, melhorar a eficiência, a funcionalidade e desempenho de um produto, processo ou serviço.

O PCV é uma ideia que pode ser executada nas organizações públicas e privadas com auxílio de ferramentas de gestão do ciclo de vida (GCV), como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ASCV), o Custeio do Ciclo de Vida (CCV) e a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV); a fim de melhorar o desempenho das ações e decisões seguindo os objetivos para o desenvolvimento sustentável (Unep, 2012). Além disso, a implementação dessa abordagem tem como finalidades gerenciar os problemas do ciclo de vida, reduzir os custos, gerenciar os riscos para a saúde e segurança do trabalhador e mitigar os impactos ambientais.

Além dessas ferramentas, o PCV também pode ser colocado em prática com o auxílio de outros métodos, podendo ser tanto qualitativos quanto quantitativos, como por exemplo, através de rótulos ecológicos, índices de sustentabilidade, formulação de políticas envolvendo uma ampla gama de partes interessadas, política integrada do produto, *ecodesign* (Kikuchi-Uehara; Nakatani; Hirao, 2016; Pollini; Rognoli, 2021). Porém, esse auxílio para a implementação da abordagem do PCV, com o uso desses métodos, se dá de forma pontual, tendo em vista que dizem respeito a uma área específica e não abrangem toda a ideia sistêmica de que o PCV se propõe.

As questões ambientais exigem um novo modo de pensar do cidadão. É necessário o conhecimento destas questões para um efetivo compromisso ético e social com as demandas ambientais, tais como, a gestão sustentável dos recursos naturais, gestão adequada de resíduos práticas de consumo consciente e sustentável, educação ambiental, eficiência energética, entre outros (Derler *et al.,* 2020; Juntunen; Aksela, 2013; Tolppanen *et al.,* 2019). Isto significa formar todas as gerações atuais dentro do paradigma imposto pela emergência das questões ambientais que nos tocam. Portanto, o PCV deve permear toda a educação escolar, em todos os níveis de ensino.

A inserção dessa abordagem nas instituições de ensino é uma proposta válida para sensibilizar os alunos sobre as questões ambientais, sociais e econômicas (Sherli; Kani, 2018). No processo de educação formal, a educação ambiental, como política pública, serve de suporte para a implementação dessa abordagem de forma efetiva, pois destina-se a tratar as múltiplas facetas da sustentabilidade e, por isso, uma das diretrizes é a transversalidade e a interdisciplinaridade (Brasil, 2005).

O enfoque do PCV também se alinha com o consenso sobre a interdisciplinaridade na área de Ciências Ambientais da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), visto que representa uma abordagem metodológica inovadora para o ensino formal. Essa abordagem promove uma reflexão que considera diferentes dimensões e interconexões envolvidas, aproximando os estudantes de sua realidade local. Dessa forma, o PCV prepara os estudantes para atender os desafios de suas futuras profissões e atender às demandas da sociedade, considerando as expectativas dos sujeitos envolvidos (Capes, 2023).

Há, portanto, uma mudança de paradigma, na qual os sujeitos passam a adquirir embasamento, de forma interdisciplinar, sobre determinado assunto, capacitando-os, a tomar decisões coerentes que contribuam para a conservação dos recursos naturais (Sherli; Kani, 2018).

Entretanto, a literatura científica evidencia que a implementação do PCV no contexto educacional é limitada e geralmente ocorre de forma pontual, com uma ênfase particular na ACV (Cosme *et al.,* 2019; Viere *et al.,* 2016). Isso ressalta a necessidade de um modelo de integração curricular com orientações mais abrangentes. Embora a ACV seja uma ferramenta importante para avaliar o impacto ambiental de produtos, processos e serviços ao longo de seu ciclo de vida, ela representa apenas uma parte do espectro do PCV.

Dada a complexidade dos problemas ambientais em todo o mundo, é necessário pensar nas questões da sustentabilidade para a melhoria das condições ambientais, sociais, econômicas e da qualidade de vida. Desse modo, questiona-se sobre os recursos metodológicos e plano de implementação para integrar o PCV nas instituições de ensino superior, com o objetivo de ampliar a percepção dos estudantes sobre os impactos ambientais, econômicos e sociais de suas atividades profissionais.

Essa integração visa capacitá-los para uma tomada de decisões fundamentadas em suas atividades profissionais, promovendo uma abordagem sistêmica (compreensão de sistemas interconectados) e sustentável (equidade social, o uso eficiente dos recursos naturais, a proteção do meio ambiente e a garantia de um desenvolvimento econômico que não comprometa os recursos para as futuras gerações) em suas práticas futuras.

1.1 Hipóteses

As hipóteses foram elaboradas com base na premissa de que o PCV é uma abordagem relativamente nova em muitas áreas educacionais. Além disso, considera-se que a integração efetiva do PCV nos currículos pode enfrentar uma série de desafios, incluindo a falta de recursos didáticos específicos, treinamento adequado para os professores, diretrizes institucionais claras e reconhecimento da importância do PCV como um meio para o desenvolvimento de competências e habilidades importantes para dotar os futuros profissionais da engenharia para lidarem com os desafios emergentes e proporem soluções adequadas. A interdisciplinaridade do PCV também é considerada como um fator que pode influenciar sua implementação nos currículos educacionais. Com base nessas premissas e a partir dos objetivos foram formuladas as seguintes hipóteses:

> Hipótese 1 – Considerando a natureza recente da abordagem do PCV em algumas áreas, é possível que a sua inclusão nos currículos das instituições de ensino ainda não tenha sido amplamente difundida, resultando em uma integração limitada ou inexistente.

Hipótese 2 – Devido à falta de familiaridade de alguns professores com a abordagem do PCV, é provável que as conexões entre os conteúdos curriculares e o PCV não tenham sido adequadamente exploradas.

Hipótese 3 – A falta de diretrizes claras para implementar a abordagem do PCV nos currículos educacionais podem representar desafios para a sua implementação efetiva nos currículos.

1.2 Justificativa e relevância da pesquisa

A pesquisa desenvolvida tem o potencial de contribuir para o desenvolvimento curricular, fornecendo direcionamentos e orientações para a implementação da perspectiva do Pensamento do Ciclo de Vida nos currículos, com ênfase em cursos de engenharia. Nesse sentido, foi elaborado um modelo de integração curricular que oferece orientações tanto didáticas quanto práticas, visando auxiliar os professores e instituições de ensino nesse processo. O objetivo é impactar positivamente diversos aspectos do ambiente educacional e profissional, além de servir como base para o desenvolvimento contínuo de abordagens e práticas relacionadas ao PCV em diversos contextos educacionais e profissionais.

A escolha dos cursos de engenharia como foco da pesquisa foi motivada pela crescente necessidade de preparar os futuros engenheiros para atuar em suas respectivas áreas, considerando as dificuldades da crise, de forma que eles possam enfrentar os novos desafios da carreira e da complexidade ambiental, social e econômica, e para desenvolver soluções que atendam às demandas emergentes, especialmente àquelas que acontecem em âmbito local e regional.

A abordagem do PCV tem sido comumente aplicada em cursos de engenharia, devido à colaboração entre as instituições de ensino e as indústrias, que visam reduzir os impactos ambientais por meio de ferramentas específicas, como a ACV (Viere *et al*., 2021). Essa abordagem reflete a crescente necessidade de integrar considerações ambientais no desenvolvimento de produtos e processos industriais. No entanto, deve-se ressaltar a interconexão entre fatores ambientais e socioeconômicos, ampliando essa percepção.

É importante observar que a maioria dos estudantes dos cursos de engenharia do Centro de Tecnologia da UFPI é proveniente do estado do Piauí, seguido por alunos do Maranhão e do Ceará, estados vizinhos. Há uma quantidade menor de estudantes vindos de outras partes do país (Rocha *et al.*, 2021). Esse dado destaca a relevância da pesquisa para a região, uma vez que a proximidade geográfica e o reconhecimento das instituições locais influenciam a escolha dos estudantes.

Ao considerar essa dinâmica, a implementação do PCV nos currículos de engenharia não apenas atende às necessidades educacionais e profissionais desses futuros engenheiros, mas também potencializa o desenvolvimento regional, capacitando profissionais que compreendem e podem atuar nas especificidades socioambientais do Nordeste. Assim, o modelo de integração curricular proposto ganha ainda mais importância ao ser aplicado em um contexto local, impactando diretamente a formação de engenheiros que irão contribuir para a resolução dos desafios enfrentados por essas regiões.

O estado do Piauí, por exemplo, tem passado por mudanças significativas em sua paisagem, com seu território sendo continuamente transformado por diversas iniciativas socioambientais. A expansão da agricultura, especialmente a cultura da soja no cerrado piauiense, é um exemplo notável. Embora tenha contribuído para o desenvolvimento econômico, essa expansão tem gerado impactos ambientais consideráveis, como a redução da biodiversidade e da degradação do habitat natural de várias espécies de mamíferos e plantas (Durán *et al*., 2020).

O fenômeno da fronteira agrícola conhecida como MATOPIBA (que abrange os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) está diretamente relacionado à perda de cobertura vegetal, que coincidiu com o período de intensificação do cultivo de soja (Lima *et al*., 2024).

Desde 2015, as áreas de cultivo de soja no Piauí têm dobrado sem nenhum decréscimo anual, o que demostra uma tendência preocupante de uniformização de manejos agrícolas, com impactos negativos na multifuncionalidade dos ecossistemas e nas interações ecológicas. Além disso, essa expansão compromete a segurança genética das populações locais, resultando em perdas de territórios comunais e cercamentos nas áreas de caatingas e chapadas, impactando a criação de gado e a coleta de frutos do Cerrado. (Sousa; Silva, 2023).

Em paralelo, a capital do estado, Teresina, encontra-se em um processo contínuo de urbanização, especialmente em áreas periféricas e de baixa renda (Espíndola; Carneiro; Façanha, 2017). Este crescimento urbano, embora esperado, levanta questões críticas relacionadas ao planejamento urbano, infraestrutura e à qualidade de vida da população local. falta de um planejamento adequado pode agravar os problemas já existentes, como a carência de serviços básicos e a degradação ambiental nas áreas mais vulneráveis da cidade.

Outro aspecto relevante é o impacto ambiental decorrente da instalação de parques eólicos, como os Parques Eólicos Testa Branca I e III, localizados no município de Ilha Grande, no extremo norte do Piauí. Embora esses empreendimentos contribuam para a geração de energia limpa, eles representam riscos para a fauna local, especialmente para as aves. Portanto, é importante que haja um planejamento rigoroso para mitigar esses impactos e garantir a

sustentabilidade desses projetos (Pereira *et al*., 2019). Além disso, a construção de estradas de acesso e linhas de transmissão associadas a esses parques eólicos resultou na perda de habitat natural, exacerbando a degradação ambiental na região (Saidur et al., 2011).

A mineração de opala em Pedro II é outro exemplo de atividade econômica que, apesar de ser de pequena escala, tem causado impactos ambientais, sociais e econômicos significativos. A falta de políticas públicas eficazes e a ineficiência dos órgãos de fiscalização têm perpetuado o trabalho informal e a comercialização no mercado paralelo, comprometendo a fauna, a flora e a paisagem local (Rodrigues, 2023). Este cenário reflete a necessidade de uma abordagem mais equilibrada e sustentável, que leve em consideração tanto o desenvolvimento econômico quanto a preservação dos recursos naturais.

Enquanto o Piauí busca se desenvolver economicamente, a transformação de sua paisagem evidencia uma carência de planejamento ambiental adequado e a necessidade de políticas públicas mais efetivas. A expansão agrícola, a urbanização desordenada, os empreendimentos energéticos e a mineração são exemplos de atividades que estão alterando o ecossistema local. Torna-se, portanto, essencial encontrar um equilíbrio entre o progresso econômico e a preservação ambiental, visando garantir um futuro sustentável para o estado, onde o desenvolvimento possa ocorrer de forma equilibrada e duradoura.

Nesse contexto, a integração da sustentabilidade e do PCV nos projetos de engenharia pode oferecer um diferencial competitivo (Milovanovi; Shealy; Katz, 2021; Rampasso *et al.*, 2019). Isso porque pode proporcionar, potencialmente, uma visão mais ampla e alinhada com as demandas contemporâneas, contribuindo para mitigar os impactos ambientais, sociais e econômicos e melhorar a qualidade de vida nas regiões afetadas.

É importante destacar que as Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de graduação em Engenharia no Brasil exigem que os alunos considerem os aspectos ambientais, sociais e econômicos em suas práticas profissionais, enfatizando a responsabilidade social e o desenvolvimento sustentável (Brasil, 2019).

Nesse contexto, a formação dos engenheiros no estado do Piauí assume um papel relevante, tendo em vista que as instituições de ensino devem prepará-los para aplicar os princípios da sustentabilidade em suas práticas profissionais e contribuir para o desenvolvimento sustentável da região. O futuro sustentável do Piauí e do Nordeste, em última análise, estará nas mãos desses profissionais, que devem ser preparados para integrar ciência, tecnologia e responsabilidade ambiental em suas práticas diárias.

1.3 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é fornecer subsídios às instituições de ensino para a implementação da abordagem do Pensamento do Ciclo de Vida na formação educacional, visando sua integração nos currículos de cursos de graduação. Os objetivos específicos são:

(1) Identificar os elementos associados ao PCV presentes nos currículos dos cursos de graduação em Engenharia;

(2) Refletir sobre a prática pedagógica docente na Disciplina de Ciências do Ambiente, comum aos três cursos de Engenharia, para verificar elementos do PCV.

(3) Apontar os desafios para a implementação do PCV nos currículos de Engenharia;

(4) Subsidiar a implementação do PCV na formação dos currículos de Engenharia, facilitando a incorporação do PCV nas atividades didáticas, através do modelo de integração curricular.

(5) Implementar a perspectiva do PCV, baseado no modelo de integração curricular, em propostas de aulas para os cursos de Engenharia.

(6) Desenvolver um manual didático sobre o PCV como material didático para aprofundamento no tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pensamento do Ciclo de Vida: conceito e importância

O ciclo de vida de um produto começa com a extração de matéria-prima, isto é, de um recurso natural na Terra, e continua com os processos de produção, embalagem, distribuição, uso, disposição final, e, eventualmente, manutenção, reuso e reciclagem (Unep, 2012).

Durante a análise do ciclo de vida de um produto, são identificados todos os materiais de entrada e de saída, incluindo a energia utilizada em cada etapa, a fim de identificar e quantificar os impactos associados ao produto, como consumo de recursos naturais, emissões de gases de efeito estufa, poluição do ar, da água e do solo, entre outros (Mahlan *et al*., 2024; Vianna *et al.*, 2022).

O PCV consiste no entendimento dos potenciais impactos sociais, ambientais e econômicos ao logo do ciclo de vida, identificando os *"hot-spots"*, ou seja, as prioridades de intervenções a serem realizadas. A vantagem do PCV é poder subsidiar o processo decisório a fim de que se evite o deslocamento de problemas de uma etapa para outra, para garantir que as melhorias em uma etapa não estejam criando um impacto cumulativo ainda maior em outra, ou também, comparar qual produto/processo/serviço causa menos impacto (Sherli; Kani, 2018; Unep, 2012).

As ferramentas de gestão do ciclo de vida dão suporte à implementação da abordagem do PCV, pois fornecem a aplicação prática. Por meio dessas ferramentas, é possível quantificar, qualificar e comunicar os impactos potenciais de um produto/processo/serviço (Zhuang *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2022). Dessa forma, com os resultados, é possível traçar as estratégias e as ações apropriadas que devem ser executadas.

Assim, determinadas soluções podem não ser o ideal e podem até ser contraproducentes. Por exemplo, Vianna *et al.* (2022) identificaram, por meio de um estudo utilizando a ferramenta da ACV, que substituir a produção de um produto convencional por um produto orgânico não diminuiria os impactos ambientais, e os benefícios estariam atrelados às mudanças nas práticas de produção em ambos os sistemas, como a adição de adubo verde. Assim, para cada produto/serviço/processo, a avaliação deve ser individualizada, pois o que acontece para um, não necessariamente se aplica para outro (Fathollahi; Coupe, 2021).

Nota-se que a abordagem do PCV pode instigar o pensamento crítico e sistêmico para a compreensão da interdependência das questões ambientais, sociais e econômicas sobre o ciclo de vida de produtos/processos/serviços, e de como as ações individuais e coletivas podem impactar a sociedade e o meio ambiente.

Dessa forma, a perspectiva do PCV pode ser implementada na educação formal, a fim de auxiliar os discentes a compreenderem e se posicionarem diante dos problemas inerentes à contemporaneidade, pois o entendimento das interconexões entre os sistemas ambientais, sociais e econômicos, faz com que adotem uma postura crítica em relação ao consumo excessivo, ao desperdício, às desigualdades sociais e às práticas insustentáveis. Assim, os discentes podem desenvolver habilidades para buscar soluções inovadoras e sustentáveis, tanto em nível individual quanto coletivo.

2.2 Implementação da abordagem do Pensamento do Ciclo de Vida no contexto da educação formal

2.2.1 Educação para a sustentabilidade

A educação para a sustentabilidade está voltada para o desenvolvimento de competências que englobam as dimensões social, ambiental e econômica, a partir de uma perspectiva local e global. Dessa forma, requer a adoção de uma postura sistêmica que integre o conceito em diferentes enfoques/contextos (Faludi; Gilbert, 2019), como, currículos, conteúdos, processo de ensino-aprendizagem, metodologias e avaliações. No entanto, a implementação dessa pedagogia pode apresentar desafios.

Por exemplo, a metodologia de ensino-aprendizagem centrada em problemas reais e locais, pode esbarrar na falta de recursos e infraestrutura em muitas escolas, especialmente nas regiões mais pobres. O ensino prático e experimental, que envolve atividades fora da sala de aula, projetos comunitários e parcerias com diferentes setores da sociedade, requer investimento financeiro e apoio institucional que nem sempre estão disponíveis.

A adoção dessas estratégias deve capacitar os discentes a refletirem sobre os impactos de suas ações, a tomarem decisões fundamentadas, a resolver problemas complexos e, além disso, a se tornarem agentes de mudança, aptos a traçar um caminho direcionado às melhorias ambientais, sociais e econômicas. Desse modo, as instituições de ensino devem estar envolvidas com as novas necessidades do mundo moderno, de forma que haja adaptações no ensino para que as gerações atuais e as futuras desenvolvam o senso crítico com ênfase no desenvolvimento sustentável (Felgueiras; Rocha; Caetano, 2017).

No ensino formal, além da qualificação docente, é necessário adaptar os currículos para fornecer diferentes níveis de competências em sustentabilidade aos estudantes (Olsen *et al*., 2018). Isso requer revisões e atualizações regulares para identificar pontos de conexão e oportunidades de abordar questões ambientais, sociais e econômicas em diversas áreas do conhecimento. Um currículo bem fundamentado na sustentabilidade não apenas fornece aos

alunos conhecimentos sólidos sobre os desafios globais, mas também os capacita com habilidades e atitudes necessárias para lidar com tais desafios (Major *et al*., 2017), beneficiando também a sociedade como um todo.

Contudo, esse processo enfrenta barreiras práticas, como a resistência à mudança e a falta de recursos adequados (Wang, 2024). A implementação de um currículo bem fundamentado na sustentabilidade exige um compromisso institucional e investimentos contínuos na qualificação docente e no desenvolvimento de materiais didáticos apropriados.

Além disso, é necessário desenvolver competências-chave, consideradas transversais, para que os temas abordados sejam alcançados de forma inter e transdisciplinar, nos diferentes enfoques acadêmicos. As competências-chave para a sustentabilidade incluem a de pensamento sistêmico, a antecipatória, a normativa, a estratégica, a de colaboração, a de pensamento crítico, a de autoconhecimento e a de resolução integrada de problemas (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2017).

O pensamento sistêmico é considerado uma das principais competências para alcançar a sustentabilidade, embora seja desafiador de ser desenvolvido, conforme destacado por Molderez e Ceulemans (2018). Outra estratégia é a utilização de métodos de aprendizagem baseados em projetos, envolvendo equipes multidisciplinares, em parceria com instituições externas e liderados por professores apoiados por toda a equipe escolar (Faludi; Gilbert, 2019). Contudo, a implementação dessas abordagens requer um esforço coordenado e o apoio de toda a equipe escolar. Sem esse suporte, há o risco de que essas iniciativas se tornem fragmentadas e ineficazes, não atingindo seu potencial transformador.

Adaptar os currículos para essa finalidade é um desafio, pois requer o desenvolvimento de protocolos para que a implementação seja efetivada. Roure *et al.* (2018) apresentam o seguinte planejamento: mapear os currículos, estabelecer metas de aprendizagem, desenvolver um plano de ação para o programa avaliado, implementar o plano de ação e avaliar o desempenho final. Entretanto, a adaptação dependerá da organização prévia dos currículos das instituições, sendo necessário desenvolver e implementar o plano de ação de forma individualizada, levando em consideração as alterações ou inclusões necessárias, mediante o que a literatura propõe sobre o tema.

Apesar das exigências existentes na educação formal, as instituições de ensino devem, de fato, implementar nos currículos as questões relacionadas ao meio ambiente, pois observa-se uma falta de conhecimento científico dos alunos sobre questões relacionadas à sustentabilidade nos currículos de vários cursos (Xavier *et al.*, 2014) e, como afirma Whicher

(2018), os alunos precisam ser alfabetizados em sustentabilidade, uma vez que possuem pouco conhecimento sobre o tema, embora reconheçam a importância de contextualizá-los.

Entretanto, apenas ensinar sobre o assunto não garante que o mesmo seja compreendido e colocado em prática. Os estudantes devem estar envolvidos de forma ativa, o assunto deve ensinado pelos docentes e praticado pelos estudantes, para que a experiência seja vivenciada, refletida e criticada (Hays *et al.,* 2020). Assim, a aprendizagem voltada para a sustentabilidade se distancia do modelo tradicional de ensino em sala de aula, e é pautada na ideia de que o aluno deve ter a capacidade de fazer mais do que se aprendeu, assumindo a responsabilidade de agir diferente, de acordo com as premissas do desenvolvimento sustentável.

Nousheen *et al*. (2020) afirmam que a implementação da sustentabilidade na formação acadêmica desempenha um papel fundamental ao capacitar os alunos a compreenderem e abordarem os temas relacionados à sustentabilidade em uma perspectiva local e global. No entanto, essa implementação deve ser percebida como uma oportunidade para engajar os alunos em uma aprendizagem significativa e relevante, e não como uma imposição externa.

Por exemplo, a integração dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, com suas metas específicas para enfrentar desafios globais, oferecem uma base sólida para orientar a educação em direção à sustentabilidade (Organização das Nações Unidas, 2015), mas requer uma abordagem contextualizada e adaptada às necessidades e realidades dos estudantes.

Com o PCV, os estudantes podem compreender como suas ações individuais e coletivas contribuem para o alcance dos ODS, como a erradicação da pobreza, o acesso a água potável, o combate às mudanças climáticas e a promoção da igualdade de gênero, entre outros. Assim, fortalecem-se os esforços para integrar a sustentabilidade na formação acadêmica, capacitando os alunos a se tornarem agentes de mudança.

Adicionalmente, a implementação do PCV na educação formal proporciona aos alunos a oportunidade de participarem de discussões e atividades práticas que abordam questões reais e emergentes relacionadas à sustentabilidade. Eles podem explorar estudos de caso, realizar análises de ciclo de vida de produtos existentes, desenvolver projetos sustentáveis e participar de debates sobre políticas ambientais. Tais experiências capacitam os alunos a se tornarem agentes de mudança, buscando alternativas viáveis e equilibradas.

Em síntese, a educação para a sustentabilidade enfrenta desafios significativos, mas apresenta oportunidades importantes para capacitar os alunos a compreenderem e abordar os temas relacionados à sustentabilidade em uma perspectiva local, regional e global.

2.2.2 Educação Superior

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº 9.394/96) define a educação superior como uma etapa do sistema educacional voltada para a formação acadêmica e profissional em nível mais avançado. Segundo a lei, a educação superior compreende os cursos de graduação, pós-graduação e extensão, ofertados por instituições de ensino superior públicas ou privadas, devidamente credenciadas pelo Ministério da Educação (Brasil, 1996).

De acordo com a legislação, os objetivos da educação superior é promover a produção e difusão do conhecimento científico, tecnológico e cultural, desenvolver o pensamento crítico, a capacidade de pesquisa, a reflexão ética e a formação profissional qualificada. Também busca contribuir para o desenvolvimento regional e nacional, bem como formar cidadãos aptos a exercerem suas atividades profissionais de forma ética e responsável, com base nos princípios da liberdade de aprender, ensinar, pesquisar e divulgar a cultura, o pensamento, a arte e o saber (Brasil, 1996).

No contexto específico da implementação do PCV no ensino formal, experiências têm sido realizadas em cursos de graduação e pós-graduação, abrangendo diversas áreas, como engenharia, química, bioquímica e gestão de negócios (Quadro 1). Essas experiências envolvem adaptações curriculares com o objetivo de inserir temas relacionados à sustentabilidade.

De acordo com Olsen *et al.* (2018), as adaptações curriculares devem fornecer aos alunos diferentes níveis de competências em relação ao PCV. Na graduação, são introduzidos conceitos básicos de sustentabilidade, abordando a perspectiva do PCV com a realização de modelagens simplificadas. Além disso, são abordados temas como Responsabilidade Socioambiental Empresarial, incluindo a elaboração de uma pegada de carbono coorporativa e resolução de estudos de casos reais.

No mestrado, as questões de sustentabilidade e suas soluções são aprofundadas, incluindo a perspectiva do PCV, a economia circular e a ACV – compreensão, execução e expertise, incluindo a aplicação para diferentes organizações. Já no doutorado, os estudantes têm a oportunidade de se envolver na implementação, adaptação e desenvolvimento de ferramentas de gestão do ciclo de vida, buscando promover a expertise e contribuir para o avanço do campo de pesquisa.

A implementação do PCV no ensino formal deve ser adaptada de acordo com o nível de conhecimento dos alunos e os objetivos a serem alcançados. Conforme os alunos avançam do nível de graduação até o doutorado, espera-se um aumento na complexidade das abordagens propostas, permitindo que desenvolvam competências progressivamente mais avançadas ao longo de sua formação acadêmica.

Experiências da implementação do PCV no ensino formal já foram desenvolvidas em países como os Estados Unidos (Ginzburg *et al*., 2019; Ramajuan; Zhou; Ramani, 2019), Reino Unido (Gallego-Schmid; Rivera; Stamford, 2018), Emirados Árabes Unidos (Hays *et al*., 2020), Dinamarca (Cosme *et al*., 2019), Colômbia (Otergon, 2019), Canadá (Roure *et al*., 2018) e França (Tyl *et al*., 2015).

Quadro 1. Experiências de implementação do Pensamento do Ciclo de Vida no ensino formal

CURSOS	OBJETIVO	PÚBLICO-ALVO	REFERÊNCIA
GRADUAÇÃO	Implementação no currículo dos Princípios para a Educação em Gestão Responsável	Escola de negócios	Hays *et al*. (2020)
	Integração da sustentabilidade ambiental em um curso de graduação	Eng. Mecânica	Ramajuan, Zhou e Ramani (2019)
	Proposta de integração do curso de engenharia do ciclo de vida no currículo, baseado em ACV e Custeio do Ciclo de Vida para execução de projetos.	Eng. Industrial	Ortegon (2019)
	Integração sistemática do desenvolvimento sustentável no currículo usando a abordagem do ciclo de vida	Eng. Civil	Roure *et al*. (2018)
	Curso de aprendizagem de serviço com ênfase em sustentabilidade	Eng. Civil	Surbeck (2018)
	Adaptação do currículo para incluir tópicos relacionados à sustentabilidade e química verde	Química	Guron, Paul e Roeder (2016)
	Implementação da perspectiva das partes interessadas no processo *front end* de ecoinovação	Eng. e Gestão de negócios	Tyl *et al*. (2015)
GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO	Descrição do currículo do curso para abordar diferentes níveis de sustentabilidade com ênfase na avaliação do ciclo de vida	Engenharia	Olsen *et al*. (2018)
	Curso sobre os fundamentos e desafios da sustentabilidade em uma empresa química (uso da avaliação do inventário do ciclo de vida).	Química e Bioquímica/ Eng. química e biomolecular	Reichmanis e Sabahi (2017)
	Integração do ensino de ACV no currículo de engenharia para estudantes com diferentes níveis de conhecimento	Eng.Civil, ambiental, mecânica e química	Gilmore (2016)
	Desenvolvimento de um projeto de *design* de produto sustentável utilizando ferramentas da química verde, pensamento do ciclo de vida e pensamento sistêmico.	Programa de estágio sobre polímeros (laboratório)	Ginzburg *et al*. (2019)
	Ensino da metodologia ACV através do curso "Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos e Sistemas"	Engenharia	Cosme *et al*. (2019)

FONTE: Elaborado pelas autoras, 2020.

Os artigos mencionados no Quadro 1 destacam a abordagem do PCV com foco na dimensão ambiental, utilizando a ACV como ferramenta para mensurar os impactos ambientais (Gallego-Schmid; Rivera; Stamford, 2018; Cosme *et al.*, 2019; Otergon, 2019). Essa abordagem tem sido direcionada principalmente aos estudantes dos cursos de graduação e pós-graduação na área de engenharia, sendo considerada tanto uma forma de auxiliar os estudantes no desenvolvimento de projetos quanto um recurso didático para os professores.

Dessa forma, os estudantes têm como possibilidade aumentar a percepção dos impactos ambientais e desenvolver a capacidade de tomar decisões responsáveis, promovendo mudanças de comportamento (Jaisli *et al.*, 2019). Entretanto, a ideia do PCV, também, inclui a dimensão econômica e social, trazendo um enfoque interdisciplinar.

Os dados apresentados revelam uma tendência crescente na incorporação do PCV no ensino formal, respondendo à necessidade premente de formar profissionais capacitados para lidar com os desafios socioambientais e econômicos contemporâneos, mas também destaca a importância de uma educação interdisciplinar. Além disso, as experiências relatadas demonstram a adaptabilidade do PCV em diferentes áreas do conhecimento, desde engenharia até química e gestão de negócios. Isso ressalta a versatilidade e a aplicabilidade transversal dessa abordagem, que pode ser integrada em uma variedade de contextos educacionais.

Portanto, ao incorporar o PCV no ensino formal, as instituições de ensino não apenas capacitam os alunos com habilidades técnicas, mas também os equipam com uma mentalidade crítica e uma compreensão abrangente dos sistemas complexos que moldam nosso mundo, preparando-os para se tornarem agentes de mudança em suas respectivas áreas de atuação.

2.2.3.1 Cursos de engenharia

A perspectiva do Pensamento do Ciclo de Vida já está sendo integrada em cursos de engenharia, tanto na graduação quanto na pós-graduação, devido à importância da sustentabilidade nas práticas profissionais dos engenheiros, para a resolução de problemas e para o planejamento de soluções viváveis (Nousheen *et al.*, 2020). Embora a abordagem ainda esteja restrita ao uso da ferramenta ACV, diferentes áreas da engenharia estão explorando essa temática.

A engenharia civil, por exemplo, pesquisas como a de Roure *et al*. (2018) têm demonstrado a aplicação do PCV em projetos de construção e infraestrutura, considerando desde a fase de extração de materiais até o descarte final dos resíduos. Da mesma forma, a engenharia mecânica tem utilizado o PCV para avaliar o desempenho ambiental de produtos,

visando a redução de impactos ao longo de seu ciclo de vida, como discutido por Ramanujan, Zhou e Ramani (2019).

Em outras áreas, como a engenharia industrial e a engenharia química e biomolecular, o PCV está sendo aplicado para tomar decisões relacionadas ao *design* de produtos e à seleção de processos químicos mais sustentáveis (levando em conta os aspectos ambientais, econômicos e sociais), respectivamente, como evidenciado por estudos como os de Ortegon (2019) e Reichmanis e Sabahi (2017).

A engenharia ambiental, de acordo com Gilmore (2016), tem utilizado estudos de caso para integrar o PCV no ensino, permitindo que os estudantes reflitam sobre a seleção de tecnologias e práticas sustentáveis para a gestão de recursos naturais, como a desinfecção de águas residuais. Da mesma forma, a implementação do PCV na engenharia de petróleo, conforme destacado por Gallego-Schmid, Rivera e Stamford (2018) evidencia a busca por soluções mais sustentáveis na exploração, produção e uso de recursos energéticos (Gallego-Schmid, Rivera e Stamford, 2018).

As pesquisas mencionadas evidenciam avanços na integração do PCV nos cursos de engenharia, abordando várias disciplinas e áreas específicas. No entanto, algumas limitações são observadas. A maioria dessas pesquisas parece focar em experiências pontuais ou em iniciativas isoladas em determinadas instituições ou contextos educacionais, o que pode dificultar a generalização e a replicação em outros ambientes. Essas limitações sugerem a necessidade de uma abordagem mais abrangente e consistente na implementação do PCV na formação em engenharia.

No entanto, é importante destacar as limitações existentes na formação dos engenheiros em relação ao PCV e à sustentabilidade. Vink (2020) revela que engenheiros de materiais de diferentes nacionalidades têm dificuldades em visualizar os impactos dos materiais que estão desenvolvendo, assim como os aspectos relacionados à sustentabilidade e ao ciclo de vida dos produtos, por exemplo, sobre a reciclabilidade, abundância, toxicidade ou longevidade dos materiais utilizados.

Isso ressalta a necessidade de aprimorar a formação dos engenheiros, para que eles possam considerar de forma mais abrangente os aspectos ambientais, sociais e econômicos ao longo do ciclo de vida dos produtos e processos que estão envolvidos. Além disso, é importante reconhecer que a pressão por resultados imediatos e a competição no mercado muitas vezes dificultam a implementação de práticas sustentáveis a longo prazo.

Nesse contexto, a integração abrangente do PCV nos currículos surge como uma oportunidade fundamental. Como destacado por Takala e Korhonen-Yrjanheikki (2013), essa

integração deve promover não apenas a reflexão ética, mas também o pensamento sistêmico e de ciclo de vida, além da aprendizagem colaborativa. Essa transformação requer uma mudança de paradigma educacional, passando de um modelo centrado no professor para um centrado no aluno, e a aplicação de metodologias de aprendizagem baseadas em atividades ativas, orientadas para problemas e projetos.

Para fortalecer a implementação do PCV, é fundamental que as universidades estabeleçam parcerias com outras instituições de ensino, indústrias, empresas e outras partes interessadas (Palleta *et al.*, 2019), a fim de incorporar a interdisciplinaridade como uma interrelação de processos, conhecimentos e práticas aplicada à realidade e aos desafios locais.

2.3 Abordagens educacionais que dão suporte à implementação do Pensamento do Ciclo de Vida no processo de ensino-aprendizagem

2.3.1 Metodologias ativas de aprendizagem

As metodologias ativas têm se consolidado como uma alternativa para a promoção de uma educação formal mais participativa e engajadora. Essas metodologias são um conjunto de abordagens educacionais que visam estimular a autonomia do aluno em seu processo de aprendizagem (Paiva *et al*., 2016), contrastando ao modelo tradicional de ensino, uma vez que propõem ao professor a função de mediador/facilitador do processo de ensino e aprendizagem, enquanto o aluno assume um papel mais participativo e protagonista.

Além de desenvolver a autonomia, a aprendizagem deve ser intrinsecamente motivadora para o aluno. Para isso, é necessário conhecer o perfil de cada um, a fim de compreender como eles enxergam o mundo, identificando seus interesses e valores (Bacich; Moran, 2017). Dessa forma, as atividades propostas podem fazer sentido, estabelecendo uma conexão entre os conteúdos abordados e suas realidades.

A construção do conhecimento ocorre por meio da interação, da experimentação e da reflexão, envolvendo não apenas o domínio de conceitos, mas também o desenvolvimento de habilidades, atitudes e valores relevantes para a vida dos estudantes. No contexto da implementação da abordagem do PCV, a utilização de metodologias ativas torna-se uma opção viável, uma vez que contribuem para atender às especificidades dessa abordagem. Perini *et al.* (2018) destacam a importância da utilização de metodologias significativas para o processo de aprendizagem do aluno, já que essa abordagem se baseia em uma perspectiva construtivista e interacionista do ensino.

O construtivismo, associado principalmente a Jean Piaget, é uma abordagem educacional que destaca a importância da construção ativa do conhecimento pelo aprendiz, em oposição à simples recepção passiva de informações. Essa teoria enfatiza o papel da interação entre o aprendiz e seu ambiente na formação de conceitos e entendimentos (Araya; Alfaro; Andonegui, 2007).

Por outro lado, o interacionismo, associado principalmente a Lev Vygotsky, é uma perspectiva teórica que enfatiza o papel central da interação social no desenvolvimento cognitivo e na aprendizagem. Essa teoria destaca a importância das interações sociais, como diálogo, colaboração e instrução, na formação do conhecimento e no desenvolvimento das capacidades mentais dos indivíduos (Barreto; Annoni, 2019).

Dentre as metodologias ativas de aprendizagem utilizadas para auxiliar a implementação do PCV, encontram-se: a aprendizagem baseada em contexto, transformacional, em problemas, no princípio de aprender fazendo, em projeto, jogos, na descoberta guiada, experiencial, em casos, de serviço e facilitada (Quadro 2). É importante destacar que essas metodologias podem se sobrepor ou ser adaptadas de acordo com as necessidades específicas do contexto educacional e dos objetivos de aprendizagem.

Por exemplo, Cosme *et al*. (2019) relataram que os estudantes de engenharia foram conduzidos a usar a ferramenta ACV, aliando teoria e prática, usando o princípio de aprender fazendo e desenvolvendo estudos de casos baseados em problemas reais de indústrias locais. Assim, os estudantes são confrontados com os desafios reais de um estudo com ACV, permitindo compreender os potenciais benefícios da ferramenta, além de identificar os principais impactos ambientais no ciclo de vida de um produto.

Outro exemplo foi realizado por Ortegon (2019), que descreveu projetos desenvolvidos por estudantes para redesenhar produtos do cotidiano, como uma raquete de tênis de mesa (relacionado a *hobbies*) e um biodigestor de baixo custo para áreas rurais (relacionado à necessidade de uma comunidade da Alemanha). Para isso, utilizaram processos com menor impacto ambiental e econômico, promovendo assim a consciência ambiental e demonstrar como a engenharia pode abordar questões práticas e relevantes para a comunidade.

Além das metodologias mencionadas, existem outros tipos de metodologias que podem ser usadas para auxiliar na implementação do PCV. Por exemplo, a sala de aula invertida permite que os alunos estudem o conteúdo antes da aula e utilizem o tempo em sala para atividades interativas e sanar as dúvidas com o professor. A aprendizagem por pares envolve a colaboração entre os alunos para compartilhar conhecimentos e resolver problemas juntos (Bacich; Moran, 2017).

Quadro 2. Tipos de metodologias ativas de ensino-aprendizagem

Metodologia ativa	Descrição	Referências
Aprendizagem Baseada em Contexto	A aprendizagem ocorre em situações e contextos reais, aproximando a teoria da prática. Exemplo: experiências de trabalho e estágios.	Tolppanen *et al*., 2019
Aprendizagem Transformacional	Abordagem que visa transformar a perspectiva e o conhecimento dos alunos, promovendo mudanças em suas percepções e ações. Ex.: reflexão crítica e dos valores.	Hays *et al*., 2020
Aprendizagem Baseada em Problemas	Os alunos são desafiados a resolver problemas complexos, aplicando conhecimentos e habilidades em situações reais para entender as diversas causas. Ex.: resolução de estudos de casos.	Bacich; Moran, 2017 Burnley; Wagland; Longhurst, 2019
Princípio de Aprender Fazendo	Os alunos aprendem por meio de atividades práticas e experimentação ativa, colocando em prática o que estão aprendendo. Ex.: experiências práticas e em laboratórios.	Cosme *et al*., 2019
Aprendizagem Baseada em Projeto	Os alunos trabalham em projetos, desenvolvendo produtos (campanhas, ideias, teorias) ou soluções para desafios reais, aplicando conhecimentos de forma integrada. Ex.: *design thinking.*	Bacich; Moran, 2017 Ginzburg *et al*., 2019
Aprendizagem Baseada em Jogos	Elementos e mecânicas de jogos são incorporados ao processo de aprendizagem para engajar os alunos e tornar a experiência mais lúdica e motivadora. Ex.: gamificação, jogos educacionais.	Bacich; Moran, 2017 Jaisli *et al*., 2019
Aprendizagem Baseada na Descoberta Guiada	Os alunos são incentivados a explorar e descobrir conceitos e conhecimentos por conta própria, com o apoio de orientação e recursos adequados.	Ramajuan; Zhou; Ramani, 2019
Aprendizagem Experiencial	Enfatiza a aprendizagem por meio de experiências práticas e vivenciais.	Maus, 2019
Aprendizagem Baseada em Casos	Os alunos analisam e discutem casos reais ou fictícios para desenvolverem habilidades de tomada de decisão, resolução de problemas e análise crítica. Ex.: simulações.	Olsen *et al*., 2018
Aprendizagem-serviço	Os alunos aplicam seus conhecimentos e habilidades para resolver problemas e atender às necessidades de contextos reais, envolvendo-se em projetos de serviço. Ex.: projetos comunitários	Surbeck, 2018
Aprendizagem Facilitada	Enfatiza a mediação e facilitação do professor no processo de aprendizagem dos alunos.	Reichmanis; Sabahi, 2017

FONTE: Elaborado pelas autoras, 2020

Assim, a adoção de metodologias ativas no contexto do PCV permite aos alunos o desenvolvimento de uma compreensão mais aprofundada e crítica sobre as questões ambientais, econômicas e sociais, além de estimular a participação ativa e a reflexão sobre as suas próprias ações e práticas no mundo.

Por exemplo, na aprendizagem baseada em projetos, os alunos podem ser envolvidos em atividades práticas que os levam a projetar soluções para desafios reais. Ao trabalhar em projetos de engenharia que abordam questões como eficiência energética, redução de resíduos e materiais sustentáveis, os alunos aplicam os princípios do PCV para aprimorar as decisões tomadas durante o processo de desenvolvimento das soluções.

Da mesma forma, a aprendizagem baseada em contexto e a aprendizagem transformacional promovem uma compreensão mais ampla das interconexões entre o PCV e as realidades ambientais, sociais e econômicas. Ao explorar exemplos e casos reais, os alunos podem ser incentivados a refletirem sobre as implicações éticas, culturais e ambientais de suas escolhas e ações. Além disso, a aprendizagem experiencial e a aprendizagem baseada em jogos oferecem oportunidades para os alunos experimentarem os princípios do PCV de forma prática e interativa, o que pode aumentar o engajamento e a motivação dos estudantes na aprendizagem desses conceitos complexos.

No entanto, o professor precisa estar atento às dificuldades e desafios enfrentados pelos alunos durante o processo de aprendizagem, pois, como afirma Libâneo (1990), o estudo ativo demanda um trabalho e planejamento prévio por parte do professor. Assim, o professor deve estar preparado para utilizar essas metodologias de forma adequada, selecionando aquela que melhor se adequa ao conteúdo, aos objetivos educacionais e ao perfil dos alunos.

Quando necessário, o professor deve ser flexível e adaptar-se, ajustando a metodologia para garantir a eficácia do processo de ensino-aprendizagem. Isso requer flexibilidade e abertura para o diálogo e a colaboração, a fim de criar um ambiente de aprendizagem inclusivo e estimulante.

Portanto, ao adotar metodologias ativas de ensino-aprendizagem, os cursos de engenharia podem proporcionar aos alunos uma educação mais sistêmica e envolvente, que os prepara para entender, aplicar e promover práticas sustentáveis ao longo de suas carreiras profissionais, sendo considerada como uma boa estratégia para aprimorar a qualidade do ensino e promover um ambiente interativo e engajador (Cosme *et al.*, 2019; Perini *et al.*, 2018).

2.3.2 Taxonomia de Bloom

A Taxonomia de Bloom é um modelo hierárquico que classifica os resultados da aprendizagem em categorias de complexidade e especificidade (Bloom *et al*., 1956). Esse modelo tem sido utilizado na área educacional e contribui para o planejamento do processo de ensino-aprendizagem, pois ajuda a definir objetivos de aprendizagem claros e específicos.

Desde a sua concepção, em 1956, a Taxonomia de Bloom vem sendo modificada por diversos autores, sendo a Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl (2002) a mais utilizada na área da engenharia. Essa versão inclui seis categorias: lembrar, compreender, aplicar, analisar, avaliar e criar, as quais são descritas no Quadro 3 juntamente com os objetivos de aprendizagem esperados em cada nível.

A categoria "Lembrar" refere-se à capacidade do estudante em recuperar informações previamente aprendidas. "Compreender" refere-se à habilidade de interpretar e explicar conceitos e ideias. Já "Aplicar" envolve a capacidade de usar o conhecimento adquirido para resolver problemas ou situações do mundo real. "Analisar" refere-se à capacidade de identificar e separar partes de um todo e relacioná-las.

No nível "Avaliar" envolve a capacidade de fazer julgamentos baseados em critérios e padrões. Por fim, "Criar" se refere à capacidade de desenvolver algo novo, como uma solução para um problema ou um produto inovador. Essas categorias fornecem uma estrutura útil para o planejamento curricular e para a definição de objetivos de aprendizagem adequados a cada nível de complexidade cognitiva.

Quadro 3. Taxonomia de Bloom Revisada

Níveis	Objetivos da aprendizagem
Lembrar	Recuperar conhecimento relevante da memória de logo prazo
Compreender	Determinar o significado das mensagens instrucionais, incluindo comunicação oral, escrita e gráfica
Aplicar	Realizar ou usar um procedimento em uma determinada situação
Analisar	Quebrar o material em suas partes constituintes e detectar como as partes se relacionam entre si com uma estrutura ou propósito geral
Avaliar	Fazer julgamentos com base em critérios ou padrões
Criar	Reunir elementos para formar um todo novo ou fazer um produto original

Fonte: Krathwohl, 2002.

A Taxonomia de Bloom Revisada (Krathwohl, 2002) está sendo utilizada no meio científico para analisar e classificar as habilidades cognitivas na Educação Superior, especialmente, para o ensino da abordagem da ACV (Viere *et al*., 2021; Favi; Marconi; Germani, 2019; Olsen *et al.*, 2018; Roure *et al*., 2018). Como exemplo, Viere *et al.* (2021)

utilizaram essa ferramenta para hierarquizar os resultados de aprendizagem esperados em relação a essa abordagem, desde a compreensão do conceito básico de PCV, sua relevância e utilização em diferentes contextos (nível 1 - lembrar), até a capacidade de aplicar métodos avançados de ACV e desenvolver extensões do método em aspectos específicos da metodologia (nível 6 – criar).

Dessa forma, a Taxonomia de Bloom auxilia na implementação da abordagem do PCV no ensino, pois permite adequar os conteúdos que serão trabalhados e o nível de complexidade, considerando objetivos de aprendizagem específicos para cada nível. Com isso, é possível ter uma visão de como deverá ser feito o planejamento para determinado tema, disciplina ou curso em específico, bem como para realizar modificações nos currículos dos cursos, de forma a garantir o melhor aproveitamento do processo de ensino-aprendizagem.

Por exemplo, uma aula de engenharia pode envolver a análise do ciclo de vida de um produto comum, como uma garrafa de plástico. Os alunos, orientados pela metodologia ativa de Aprendizagem Baseada em Problemas, seriam orientados a identificar os diferentes estágios do ciclo de vida da garrafa, desde a extração de matérias-primas até o seu descarte final, e a examinar os diversos impactos relacionados a cada etapa, como consumo de energia, emissões de gases, geração de resíduos e impactos na saúde.

Por meio dessa análise detalhada, os alunos desenvolveriam habilidades de pensamento crítico, análise de dados e proposição de soluções sustentáveis, alinhando-se com os objetivos de aprendizagem estabelecidos pela Taxonomia de Bloom, que visa promover a compreensão, aplicação e geração de novas ideais e soluções.

Em síntese, a integração das metodologias ativas de ensino-aprendizagem com a Taxonomia de Bloom Revisada oferece suporte para a implementação PCV. As metodologias ativas proporcionam uma abordagem participativa e prática, engajando os alunos em atividades que fomentam a compreensão e aplicação de conceitos relacionados ao PCV. Por sua vez, a Taxonomia de Bloom Revisada fornece uma estrutura hierárquica para estabelecer objetivos de aprendizagem claros e específicos em cada nível de complexidade cognitiva.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

A pesquisa foi conduzida em três cursos de graduação em Engenharia, oferecido no Centro de Tecnologia do Campus Ministro Petrônio Portella da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil. Os cursos analisados foram Engenharia de Materiais, Engenharia de Produção e Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. Essa seleção levou em consideração a representatividade de diferentes áreas de atuação da engenharia, e porque os cursos possuem carga horária total semelhante.

3.2 Procedimentos metodológicos

A pesquisa foi conduzida em quatro etapas distintas: (1) análise e mapeamento dos currículos; (2) observação da prática docente; (3) elaboração de um modelo de integração curricular baseado no PCV; e (4) seleção de disciplinas para proposição de temas de aulas baseadas no PCV.

3.2.1 Mapeamento dos currículos

A metodologia utilizada para o mapeamento do currículo foi conduzida em duas etapas principais: a análise dos Projetos Pedagógicos dos Cursos (PPC) e o mapeamento das disciplinas. O objetivo foi identificar elementos associados ao PCV presentes nos PPC e nas disciplinas, e àquelas com potencial para implementação da abordagem.

3.2.1.1 Mapeamento dos Projetos Pedagógicos do Curso

O PPC é um documento que delineia a estrutura acadêmica e curricular de um curso, alinhado aos requisitos obrigatórios para a formação profissional. Funciona como um guia para a gestão, professores, alunos e demais interessados, orientando o desenvolvimento do curso e delineando sua proposta educacional.

Dessa forma, a análise do PPC foi a primeira etapa para identificar os elementos associados ao PCV no currículo dos cursos. Nessa etapa, utilizou-se a metodologia de “Análise de Conteúdo”, como sistemática para o tratamento e análise dos dados (Bardin, 2016). Nessa análise buscou-se extrair dos documentos os elementos associados à abordagem do PCV e/ou temas associados. Para a organização da análise, seguiu-se com: a pré-análise, a exploração do material, o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

A pré-análise, a organização inicial envolve a seleção dos PPC que foram submetidos a análise, seguida por uma leitura flutuante dos documentos para identificar palavras-chave e elaborar indicadores para a interpretação final das informações. Na fase seguinte de exploração, o material é examinado de forma mais direcionada, sendo o conteúdo coletado transformado em unidades de registro a palavra, por considerar que traz mais significado e representatividade nos aspectos que foram analisados. Diante disso, as palavras-chaves escolhidas representam os interesses de discussão.

Desse modo, após a leitura do PPC foram surgindo palavras significativas e suas respectivas unidades de contexto, o que possibilitou, posteriormente, transformá-las em categorias. As palavras-chaves selecionadas foram: ciclo de vida, sustentabilidade, sustentável, ambiental, ambiente, ambientais, ambientalmente, sócio-ambientais, econômica, econômico(s), socioeconômica, sócio-econômicos, sociais, social, matérias-primas, recursos naturais, resíduos, produto(s), pensamento crítico, pensamento reflexivo, problemas, decisão, decisões, interdisciplinar, interdisciplinares, interdisciplinaridade.

A terceira e última fase consistiu no tratamento e conclusão dos resultados do material obtido na análise documental. Para isto, fez-se uma análise comparativa tentando encontrar aspectos semelhantes e os agrupando em categorias. Cabe destacar que as categorias sistematizadas buscaram refletir sobre o tema proposto. A definição das categorias também foi embasada na literatura científica da área, conforme detalhado no Quadro 4.

Dessa forma, chegou-se à definição de oito categorias: Categoria 1 - Consideração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos, éticos e/ou políticos pelos engenheiros; Categoria 2 - Integração dos princípios da sustentabilidade nas atividades de engenharia; Categoria 3 – Avaliação dos impactos (ambientais, sociais e/ou econômicos) e viabilidade das atividades de engenharia; Categoria 4 - Formação multi e/ou interdisciplinar; Categoria 5 - Solução de problemas; Categoria 6 – Pensamento crítico e/ou reflexivo; Categoria 7 – Gestão e análise de produtos, processos e/ou serviços; Categoria 8 – Tomada de decisão estratégica.

Vale ressaltar foram selecionadas para tratamento dos dados apenas as palavras que estavam em um contexto que inclua elementos associados ao PCV. Foram selecionados os contextos que estavam na justificativa, concepção do curso, objetivos do curso, perfil profissional do egresso, atribuições profissionais, princípios curriculares norteadores do curso, organização didático-pedagógica e competências e habilidades. A etapa final consistiu na interpretação dos dados.

Quadro 4. Abordagens relacionadas ao Pensamento do Ciclo de Vida

Abordagem	Referência
Análise dos impactos ambientais, sociais e econômicos ao longo do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço.	Caretta *et al*. (2021) Marinelli *et al.* (2019) NBR ISO 14040 (ABNT, 2014a) NBR ISO 14044 (ABNT, 2014b)
Identificação de oportunidades de melhoria, redução de impactos ambientais e promoção de práticas sustentáveis para os negócios.	Unep (2016)
Sistemas mais eficientes e sustentáveis, baseados na integração, reutilização de materiais e colaboração entre as empresas.	Ayres e Ayres (2002) Salatino *et al.* (2023)
Integração de princípios de sustentabilidade no *design* de produtos e processos.	Bonou *et al*. (2016)
Redução, reutilização, reciclagem e descarte adequado de resíduos.	Ikhlayel (2018) Martinazzo *et al.* (2023)
Seleção de materiais e processos de fabricação para o desenvolvimento de produtos.	Ebrahimi e Koh (2021)
Avaliação da eficiência energética e desempenho ambiental.	Ingrao *et al*. (2018)
Tomada de decisões fundamentadas com base em informações sobre o ciclo de vida usando ferramentas para avaliar os impactos.	Jagoda *et al*. (2023) Prabatha *et al*. (2020) Zhang *et al.* (2021)

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

3.2.1.2 Mapeamento das disciplinas do curso

Na segunda etapa do mapeamento do currículo, realizou-se o mapeamento das disciplinas do curso através da leitura integral dos planos de ensino de cada uma. Esses planos detalham a ementa, os objetivos, o conteúdo programático, os procedimentos de ensino, a sistemática de avaliação e a bibliografia básica e complementar. O objetivo dessa etapa foi identificar disciplinas com potencial para implementar a abordagem do PCV. Essa identificação foi facilitada pelo uso de uma ferramenta de análise denominada "roteiro", conforme apresentado no Quadro 5. Esse roteiro inclui questões específicas sobre conteúdos, práticas, habilidades e metodologias de ensino associados ao PCV, a fim de facilitar o mapeamento das disciplinas.

Os planos de disciplina considerados para a análise foram àqueles ofertados nos períodos de 2012.1, 2018.2, 2019.1, 2019.2, 2019.4, 2020.2, 2021.1, 2021.2 e 2022.2, correspondentes a nove semestres letivos, pois são os que foram disponibilizados pelas coordenações dos cursos. Os planos foram obtidos mediante solicitação por *e-mail* aos coordenadores/chefes de departamentos das unidades responsáveis pela oferta das disciplinas dos cursos e, também, diretamente nas secretarias de cada curso, quando não se obteve respostas via *e-mail*.

Para a elaboração do roteiro, uma busca por artigos científicos foi realizada nas bases de dados como *Web of Science, Scopus* e *Science Direct,* utilizando palavras e termos relacionados à educação e ao PCV, tais como: "*life cycle thinking*" AND *education*, "*life cycle thinking*" AND *teaching*, "*life cycle thinking*" AND *learning*, "*life cycle thinking*" AND *curriculum*, "*life cycle thinking*" AND "*environmental education*".

A busca abrangeu o período de 1993 a agosto de 2023 e foi realizada através da ferramenta de "busca avançada". O filtro "ALL" aplicado para recuperar artigos contendo os termos em todos os campos do texto, visando obter um maior número de trabalhos relevantes. No entanto, o intervalo de 1993 a 2004 foi excluído, uma vez que não abordava adequadamente a perspectiva do PCV; por exemplo, alguns trabalhos mencionavam o termo "*life cycle thinking"* apenas nas referências. Portanto, a análise foi concentrada no período de 2005 a agosto de 2023.

Quadro 5. Roteiro elaborado para análise dos elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida nas disciplinas dos cursos de Engenharia.

SEÇÕES	Elementos associados à implementação da abordagem do Pensamento do Ciclo de Vida	Referência (ano)
CONTEÚDOS	Q*01. As disciplinas possuem ementa/conteúdos relacionados às questões ambientais, sociais e/ou econômicas?	-
	Q02. O curso prevê a incorporação da sustentabilidade no conteúdo programático das disciplinas?	Gilmore (2016); Guron; Paul; Roeder (2016)
	Q03. Em quais disciplinas pode ser observado o ensino dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)?	Gallego-Schmid; Rivera; Stamford (2018) Viere *et al*. (2021)
	Q04. Em quais disciplinas pode ser observado o ensino da economia circular/*ecodesign*/logística reversa?	Bonou; Skelton; Olsen (2016); Sharma; Kalbar; Salman (2022) Viere *et al*. (2021)
	Q05. O curso prevê o ensino de educação/gestão ambiental?	Viere *et al*. (2021)
	Q06. Em quais disciplinas pode ser observado o ensino de química verde?	Ginzburg *et al*. (2019) Reyes; Bruce; Shetranjiwalla (2023)
	Q07. Quais disciplinas preveem a discussão dos impactos ambientais/sociais/econômicos?	Viere *et al*. (2021)
	Q08. As ementas/conteúdo programático/ referências bibliográficas das disciplinas do curso preveem a discussão ambiental de uma forma transdisciplinar? Ou a discussão fica restrita à disciplina específica do curso (Ciências do Ambiente)?	-
	Q09. Quais disciplinas preveem o estudo das normas baseadas no PVC?	Viere *et al*. (2021)
	Q10. Quais disciplinas preveem o ensino sobre o ciclo de vida de produtos/processos/serviços?	Waard; Prins; Van Joolingen (2022)

SEÇÕES	Elementos associados à implementação da abordagem do Pensamento do Ciclo de Vida	Referência (ano)
	Q11. Em quais disciplinas pode ser observado discussão do tópico Responsabilidade Socioambiental Corporativa (RSAC)	Olsen *et al*. (2018)
PRÁTICAS	Q12. O curso prevê a realização de estudos de casos reais em colaboração com empresas ou outras organizações?	Cosme *et al*. (2019); Faludi; Gilbert (2019); Viere *et al*. (2020)
	Q13. Em quais disciplinas do curso podem ser apresentadas e discutidas ferramentas relacionadas ao ciclo de vida (ACV, ACVO, CCV, ACVS, economia circular/ *ecodesign*/logística reversa)?	-
	Q14. O curso prevê o uso de softwares e banco de dados específicos associados ao PCV?	Viere *et al*. (2021)
	Q15. Em quais disciplinas pode ser incluída a ACV básica, com uso de planilhas do *Excel* como ferramenta para avaliar os impactos ambientais/econômicos/sociais?	Burnley; Wagland; Longhurst (2019) Waard; Prins; Van Joolingen (2022)
	Q16. Os estudos de casos com o uso da ACV aliam a teoria e a prática?	Cosme *et al*. (2019)
	Q17. O curso prevê a incorporação de abordagens relacionadas ao ciclo de vida no desenvolvimento de projetos?	Mammadov; Vali (2020) Rybachuk (2020)
	Q18. Quais disciplinas do curso preveem práticas em laboratórios, visitas técnicas ou estágios?	-
	Q19. Em quais disciplinas do curso pode ser observado a implementação do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) em projetos?	Bonou; Olsen; Hauschild (2015).
HABILIDADES	Q20. O Curso prevê o desenvolvimento de habilidades, tais como, pensamento sistêmico, pensamento crítico, ética, colaboração/trabalho em equipe, resolução e antecipação de problemas, comunicação e tomada de decisão?	Perpignan *et al*. (2020); Takala; Korhonen-Yrjänheikki (2019); Wanniarachchi *et al.* (2022).
METODOLOGIAS DE ENSINO	Q21. Quais disciplinas do curso aplicam o uso de metodologias ativas (os estudantes são os protagonistas do processo de ensino-aprendizagem)?	Cosme *et al*. (2019); Douglas; Chiu (2012); Dubauskiene *et al.* (2020) Ginzburg *et al*. (2019); Jaisli *et al*. (2019); Kurisu *et al.* (2021); Ramanujan; Zhou; Ramani (2019); Whalen *et al.* (2018).
	Q22. O curso prevê a realização de palestras/workshops que abordem à ideia do PCV?	Viere *et al*. (2021)
	Q23. As disciplinas preveem a discussão e/ou realização de estudos de casos e atividades de solução de problemas?	Dubauskiene *et al.* (2020) Lopera; Gutiérrez-Velásquez; Ballesteros (2022) Waard; Prins; Van Joolingen (2022)

*Q=QUESTÃO. Fonte: Elaborado pelas autoras (2022)

3.2.2 Observação da prática docente

Após o mapeamento, a disciplina de Ciências do Ambiente foi selecionada para análise uma vez que é comum aos três cursos de engenharia, sendo ofertada como disciplina obrigatória, tendo como objetivo entender como os elementos presentes no plano de disciplina é implementado por dois professores diferentes e quais são os desafios durante o processo.

Foi selecionada a Disciplina “Ciências do Ambiente” ministrada para os cursos de Engenharia de Materiais e de Engenharia de Produção pelo Docente A e a Disciplina “Ciências do Ambiente” ministrada para os cursos de Engenharia de Produção e de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura pelo Docente B. O acompanhamento das aulas aconteceu em ambiente virtual de ensino, pois foi no período da pandemia do Covid-19.

3.2.3 Elaboração de um modelo de integração curricular baseado no PCV

A partir da literatura científica do tema, construiu-se um modelo de integração curricular, fornecendo orientações tanto conceituais quanto práticas, para orientar o percurso de implementação do PCV, desde as instituições de ensino, até os professores e alunos. O qual foi organizado em duas etapas principais: a trajetória de apropriação docente e a trajetória de apropriação discente. A trajetória de apropriação docente consiste em três etapas: (1) exposição inicial e capacitação; (2) formação docente; e (3) compreensão docente.

Para apoiar essa implementação, foi elaboro um manual didático sobre o PCV, que serve como material didático para aprofundamento no tema. O manual didático foi estruturo com os seguintes tópicos: interconexão dos aspectos ambientais, sociais e econômicos; além das escolhas: reflexões sobre o ciclo de vida; o Pensamento do Ciclo de Vida (PCV): uma abordagem sistêmica; como entender o PCV; ciclo de vida da água engarrafada; abordagens e ferramentas que dão suporte à abordagem do PCV.

A trajetória de apropriação discente consiste na aplicação e desenvolvimento de habilidades pelos estudantes, orientado pelo professor. Nesta última etapa, foram propostas aplicações práticas com a abordagem do PCV.

As ferramentas sugeridas para serem utilizadas nas aplicações práticas do PCV foram selecionadas por meio de buscas na *Google Play Store* (versão navegador para *desktops*) com os filtros “app e jogos”, e “free” (Tabela 1). As buscas incluíram termos em inglês e português. As buscas em português tiveram como intuito recuperar ferramentas para aplicações brasileiras. Os aplicativos deveriam abordar a perspectiva PCV de produtos e processos, incluindo as diferentes fases do ciclo de vida dos produtos ou serviços (por exemplo, extração, produção, transporte e destino).

Além disso, eles deveriam estimar, pelo menos, um impacto ambiental, social e/ou econômico. Para identificar aplicativos que propositalmente incluíssem tal funcionalidade, foram revisados as descrições e os títulos deles. No entanto, a maioria dos resultados encontrados apresentava funcionalidades fora do escopo deste estudo e apenas dois foram utilizados na pesquisa, o Idemat e Sprecometro.

Tabela 1. Termos de busca usados na *Google Play Store* para pesquisar aplicativos com a perspectiva do pensamento do ciclo de vida

Termos de busca	**Resultados**	**Aplicativos instalados**
“life cycle thinking”	2	1
lct	30	0
“life cycle assessment”	3	2
lca	30	0
environmental calculator	10	2
“life cycle” environmental	13	1
“life cycle” social	8	0
“life cycle costing”	3	0
“environmental impact”	14	1
environmental impact calculator	30	1
“footprint calculator”	30	2
“pensamento do ciclo de vida”	1	0
pcv	30	0
“avaliação do ciclo de vida”	6	2
acv	249	1
calculadora ambiental	250	5
“ciclo de vida” ambiental	216	1
“ciclo de vida” social	146	3
“custeio do ciclo de vida”	223	2
“impacto ambiental”	249	5
“impacto social”	92	1

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2024.

3.2.4 Seleção de disciplinas para proposição de temas de aulas

Após a elaboração do modelo de integração curricular, procedeu-se à seleção de algumas delas, para disponibilizar modelos de aulas, como ideias para auxiliar os professores na implementação da abordagem do PCV em suas aulas e/ou projetos, para que possam ser adaptados de acordo com a necessidade de cada disciplina e/ou contexto acadêmico.

A proposta consistiu em fornecer essas sugestões de aulas nos conteúdos previstos nas ementas das disciplinas dos cursos de engenharia analisados, a fim de proporcionar um melhor entendimento pelos professores desses cursos de como a implementação pode ser executada. Para cada aula, foram detalhados o tema, a disciplina, os objetivos de aprendizagem

categorizados de acordo com a Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl, integrando o PCV, além da metodologia e da avaliação.

A utilização da Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl (2002) na definição dos objetivos da aula foi fundamental para estabelecer as metas de aprendizagem. Essa categorização contempla habilidades para a área da engenharia e abrange seis categorias: lembrar, compreender, aplicar, analisar, avaliar e criar. Uma adaptação foi realizada, incorporando uma coluna específica para integrar a perspectiva do PCV (Quadro 6). Dessa forma, foi possível diferenciar os níveis de habilidade cognitiva relacionados ao PCV.

Quadro 6. Taxonomia de Bloom Revisada alinhada ao Pensamento do Ciclo de Vida

Níveis	Objetivos da aprendizagem	Objetivos da aprendizagem alinhados ao PCV
Lembrar	Recuperar conhecimento relevante da memória de longo prazo	Recordar conteúdos específicos ministrados nas disciplinas do curso
Compreender	Determinar o significado das mensagens instrucionais, incluindo comunicação oral, escrita e gráfica	Compreender as diferentes etapas do ciclo de vida e/ou temas específicos associados à ideia do PCV, identificando conceitos-chave e suas interrelações
Aplicar	Realizar ou usar um procedimento em uma determinada situação	Demonstrar a implementação do PCV em cenários específicos, como na análise de produtos, processos ou serviços
Analisar	Quebrar o material em suas partes constituintes e detectar como as partes se relacionam entre si com uma estrutura ou propósito geral	Analisar criticamente as fases do ciclo de vida e/ou temas específicos associados à ideia do PCV, identificando os impactos ambientais, sociais e econômicos associados, entre outros, e compreender como essas partes se conectam
Avaliar	Fazer julgamentos com base em critérios ou padrões	Avaliar os resultados das análises do ciclo de vida e/ou temas específicos associados à ideia do PCV, identificando oportunidades de melhoria e propondo soluções sustentáveis para mitigar impactos ao longo do ciclo de vida do produto, processo ou serviço
Criar	Reunir elementos para formar um todo novo ou fazer um produto original	Desenvolver propostas criativas e inovadoras para integrar o PCV em produtos, processos ou serviços

Fonte: Krathwohl (2002), adaptado pelo autor.

De acordo com Libâneo (1990), a sistematização dos conhecimentos e habilidades, de forma orientada e dirigida, é necessário para que o estudante desenvolva suas capacidades mentais, a fim de que se tornem instrumentos do pensamento.

3 DESCRIÇÃO DA MATRIZ CURRICULAR DOS TRÊS CURSOS DE ENGENHARIA

Para garantir a qualidade da formação dos engenheiros, a Resolução CNE/CES nº 2/2019 define diretrizes para os cursos de graduação em engenharia. Entre os requisitos estabelecidos, está a necessidade de contemplar os conteúdos básicos, profissionais e específicos na matriz curricular, sendo que a forma de trabalhar esses conteúdos deve ser proposta e justificada no próprio Projeto Pedagógico do Curso (Brasil, 2019).

De acordo com a Resolução CNE/CES nº 2/2019, o núcleo de conteúdos básicos compreende disciplinas fundamentais que fornecem as bases teóricas e conceituais necessárias para o entendimento e o desenvolvimento de conhecimentos mais avançados. O núcleo de conteúdos profissionais refere-se a disciplinas específicas da área de engenharia escolhida, que fornecem conhecimentos técnicos e práticos necessários para a atuação profissional. O núcleo de conteúdos específicos refere-se a disciplinas que estão mais diretamente relacionadas à especialização ou ênfase escolhida dentro de uma determinada área de engenharia.

O núcleo de conteúdos específicos se constitui em extensões e aprofundamentos dos conteúdos do núcleo de conteúdos profissionalizantes, bem como de outros conteúdos destinados a caracterizar modalidades, e constituem-se em conhecimentos científicos, tecnológicos e instrumentais necessários para a definição das modalidades de engenharia. diretrizes.

Tabela 2. Síntese da estrutura curricular dos cursos de engenharia

	Eng. de Materiais	**Eng. de Produção**	**Eng. Cartográfica e de Agrimensura**
Carga horária total	3.615h	3.615h	3.765h
Disciplinas Obrigatórias	51	52	48
Disciplinas optativas	4	3	2
Optativas disponíveis	30	35	15
TCC	I e II	I e II	I e II
Estágio Supervisionado	sim	sim	sim
Total de planos de disciplina	84	90	66

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

No curso de Engenharia de Materiais, o discente deve cursar 51 disciplinas obrigatórias, 4 disciplinas optativas, Trabalho de Conclusão de Curso (I e II) e Estágio Supervisionado. As disciplinas optativas podem ser escolhidas pelo discente no 8º e 9º períodos, sendo possível escolher duas disciplinas optativas em cada período, dentre um total de 30 opções disponíveis (Tabela 2).

O curso de Engenharia de Materiais possui um total 84 disciplinas, que são distribuídas entre diversas unidades responsáveis. A maioria dessas disciplinas (55) é coordenada pelo próprio curso de Engenharia de Materiais, enquanto outras são de responsabilidade de outros departamentos e coordenações, como, Matemática; Engenharia de Produção; Letras; Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental; Ciência da Computação; Física; Administração; Filosofia; Construção Civil e Arquitetura; Estatística; Engenharia Elétrica; Ciências Econômicas; Serviço Social e Pedagogia (Anexo A).

O curso de Engenharia de Produção conta com um total de 55 disciplinas, das quais 52 são obrigatórias. Além disso, o discente pode cursar 3 disciplinas optativas, uma em cada período do 7º, 8º e 9º, dentre um total de 35 disponíveis. O curso também inclui o Trabalho de Conclusão de Curso e o Estágio Supervisionado, que são atividades essenciais para a formação do aluno (Tabela 2).

No curso em questão, há um total de 90 disciplinas oferecidas por 18 unidades responsáveis diferentes, sendo que a maioria é ministrada pela coordenação do curso de Engenharia de Produção, com um total de 42 disciplinas obrigatórias. Outros departamentos responsáveis incluem Administração; Engenharia Mecânica; Matemática; Física; Ciência da Computação; Engenharia de Materiais; Engenharia Elétrica; Economia; Estatística; Letras; Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental; Filosofia; Química; Departamento de Construção Civil e Arquitetura; Contabilidade; Educação; e Departamento de Ciências Jurídicas (Anexo B).

Durante o curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, o aluno deverá completar um total de 48 disciplinas obrigatórias, duas disciplinas optativas, um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) dividido em duas etapas (TCC I e II) e um Estágio Supervisionado (Tabela 2). As duas disciplinas optativas podem ser cursadas no 9º período, e o estudante terá à disposição 15 opções de disciplinas para escolher, um número menor em comparação aos outros dois cursos, o que pode limitar a escolha e a exploração de áreas de interesse dos alunos.

Ao todo, o curso oferece 66 disciplinas, distribuídas entre 15 departamentos distintos: (33) Transportes; (8) Recursos Hídricos e Geologia Aplicada; (4) Construção Civil e Arquitetura; (3) Física; (3) Matemática; (3) Informática e Estatística; (2) Estruturas; (2) Filosofia; (1) Ciências Contábeis; (1) Ciências Econômicas; (1) Ciências Jurídicas; (1) Ciências Sociais; (1) Educação Aberta e a Distância; (1) Letras; e (1) Química. Não foi possível identificar o departamento responsável pela disciplina de Estágio Supervisionado (Anexo C).

A explanação da matriz curricular dos três cursos de engenharia permitiu identificar uma ampla quantidade de disciplinas obrigatórias em cada área, evidenciando a importância e

abrangência dos conteúdos fundamentais abordados durante a formação dos alunos. Por exemplo, no curso de Engenharia de Produção, disciplinas como Planejamento e Controle da Produção, Projeto de Instalações, Controle Estatístico da Qualidade, entre outras, são consideradas essenciais. Essas disciplinas proporcionam aos alunos uma base sólida de conhecimentos teóricos e práticos para a sua atuação profissional.

Ademais, as disciplinas optativas possibilitam o aprofundamento de conhecimentos em áreas específicas (Garg *et al.,* 2018), conforme os interesses e objetivos profissionais dos estudantes. Tais disciplinas frequentemente abrangem tópicos atualizados e inovadores (Vázquez-Villegas *et al.,* 2024; Moraru, 2021), permitindo que os discentes se mantenham informados sobre as últimas tendências e avanços em suas áreas de estudo.

Por fim, a etapa subsequente da pesquisa envolveu a análise dos elementos associados ao PCV nos PPC dos três cursos de engenharia, proporcionando o entendimento de como essa abordagem se relaciona no currículo de cada curso. Além disso, essa etapa da pesquisa permitiu identificar possíveis deficiências na abordagem do tema, para que seja possível propor recomendações para melhorias na proposta curricular.

5 ELEMENTOS ASSOCIADOS AO PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA NO CURRÍCULO DOS CURSOS DE ENGENHARIA

5.1 Análise dos Projetos Pedagógicos dos Cursos

A análise dos PPC oferece uma perspectiva sobre a integração do PCV nos currículos dos cursos de engenharia. Ao examinar os PPC, é possível identificar como os conceitos e princípios relacionados ao ciclo de vida são considerados e integrados nas diferentes disciplinas e áreas de especialização dentro dos cursos de engenharia.

Ao comparar os dados da Categoria 1 entre os PPC, foi possível identificar similaridades e diferenças na ênfase e abordagem dos aspectos ambientais, sociais, econômicos, éticos e políticos. Todos os PPC destacam a importância de formar profissionais eticamente responsáveis e conscientes dos impactos sociais, econômicos e ambientais de suas atividades, embora com enfoques adaptados às suas respectivas áreas de atuação. No entanto, essa ênfase pode variar conforme a natureza específica de cada curso e área de atuação, refletindo adaptações e enfoques particulares para atender às demandas do mercado e da sociedade (Quadro 7).

Dessa forma, a responsabilidade social e ambiental emerge como um tema central e recorrente nos cursos, destacando a importância atribuída a esses valores fundamentais na formação dos futuros engenheiros. Essa constatação ressalta a urgência de desenvolver profissionais capacitados não apenas tecnicamente, mas também socialmente conscientes e comprometidos com a promoção do desenvolvimento sustentável em suas práticas profissionais.

A importância de uma visão sistêmica e global também é mencionada, indicando que os engenheiros devem ser capazes de compreender o contexto mais amplo de suas atividades e o papel social de sua profissão. Entretanto, no PPC 3 destaca um foco específico na realidade local e regional. Essa abordagem pode despertar maior interesse nos estudantes ao conectar o currículo à sua própria realidade local, tornando a aprendizagem mais relevante e aplicável às necessidades da comunidade e região.

No PPC 1, há uma ênfase específica na conscientização dos impactos sociais e ambientais relacionados ao ciclo de vida dos materiais e ao balanço energético dos materiais. Isso sugere uma preocupação particular com os impactos durante as etapas do ciclo de vida dos materiais e com a eficiência energética na utilização dos materiais. Porém, a dimensão econômica não é contemplada. Nesse sentido, o PCV pode ser um meio para ampliar essa percepção para os engenheiros.

Quadro 7. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 1 (Consideração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos, éticos e/ou políticos pelos engenheiros) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia

Categoria 1 - Consideração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos, éticos e/ou políticos pelos engenheiros	
Contexto	
PPC 1	considerando o ambiente e as condições de trabalho como direitos da pessoa humana (pg. 8)
	formar profissionais comprometidos com o desenvolvimento social e econômico, como agentes nucleadores de novas propostas tecnológicas. (pg. 12)
	observância à ética e respeito à dignidade da pessoa humana e ao meio ambiente e às diferenças. (pg. 14)
	construção de projetos coletivos dotados de sustentação ética e respeito à dignidade e às diferenças, procurando responder à complexidade das relações sociais e minimizar as desigualdades e tensões decorrentes de um contexto social em permanente transformação. (pg. 14)
	possuir consciência dos impactos sociais e ambientais: ciclo de vida dos materiais e balanço energético dos materiais (pg.20)
	possuir consciência dos contextos sociais e globais e das responsabilidades éticas da profissão. (pg. 20)
	ser capaz de desenvolver a percepção das implicações éticas, sociais e políticas da atividade profissional (pg. 22)
	capacidade de lidar com os aspectos sócio-econômicos e político-ambientais (pg. 154)
PPC 2	as atividades desenvolvidas devem articular harmoniosamente as dimensões: humana, técnica, político-social e ética. (pg. 28)
	profissional comprometido com a ética profissional, com a melhoria da qualidade de vida, a preservação do meio ambiente e segurança da sociedade, capacitado ao aprendizado contínuo, que seja social, econômica e politicamente responsável, que tenha visão sistêmica e globalizada e esteja apto ao trabalho em equipes multidisciplinares". (pg. 35)
	responsabilidade social e ambiental. (pg. 37)
	compreensão dos problemas administrativos, sócio-econômicos e do meio ambiente. (pg. 37)
PPC 3	em suas atividades, considera a ética, a segurança e os impactos sócio-ambientais. (pg. 10)
	para se obter um egresso responsável e direcionado ao desenvolvimento econômico e social. (pg. 18)
	capacidade de lidar com os aspectos sócio-econômicos e político-ambientais de sua profissão. (pg.19)
	considerar aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais dos problemas que se lhe apresentarem, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade. (pg. 20)
	boa visão global do meio no qual ele irá atuar e consciência do papel social de sua profissão frente às diversidades local, regional e nacional (pg. 20)

PPC 1 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Materiais. PPC 2 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção. PPC 3 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Na categoria 2, todos os PPC destacam a importância de integrar princípios de sustentabilidade em suas atividades. Isso inclui o desenvolvimento de tecnologias e processos que minimizem os impactos ambientais e promovam o uso responsável dos recursos naturais. Os PPC reconhecem a importância de formar profissionais capazes de contribuir para o desenvolvimento econômico e social de forma sustentável, enfatizando a exigência de conhecimentos interdisciplinares, sendo que cada curso adota uma abordagem específica alinhada com as particularidades de sua área de atuação e com as demandas regionais (Quadro 8).

Quadro 8. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 2 (Integração dos princípios da sustentabilidade nas atividades de engenharia) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia

Categoria 2 - Integração dos princípios da sustentabilidade nas atividades de engenharia	
Contexto	
PPC 1	atuar no desenvolvimento de materiais mais eficazes, econômicos e menos poluentes, com foco na sustentabilidade. (pg. 22)
	formação generalista, humanista, crítica e reflexiva capazes de explorar os recursos naturais de forma sustentável (pg. 177)
	região agrega um grande potencial de recursos naturais, os quais devem ser explorados de forma sustentável, visto a existência de jazidas de minérios de grande interesse econômico. (pg.12)
	formar profissionais comprometidos com o desenvolvimento social e econômico, como agentes nucleadores de novas propostas tecnológicas. (pg. 12)
PPC 2	o mercado necessita cada vez mais de mão de obra qualificada para corroborar com melhorias para o desenvolvimento sustentável da região. (pg. 16)
	especificar, prever e avaliar os resultados obtidos destes sistemas para a sociedade e o meio ambiente, recorrendo a conhecimentos especializados da matemática, física, ciências humanas e sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análises e projetos de engenharia. (pg. 28)
	planejamento da utilização eficiente dos recursos naturais nos sistemas produtivos diversos, da destinação e tratamento dos resíduos e efluentes destes sistemas, bem como da implantação de sistema de gestão ambiental e responsabilidade social. (pg. 32)
	ser capaz de compreender a interação dos sistemas de produção com o meio ambiente, tanto no que se refere à utilização de recursos escassos quanto à disposição final de resíduos e rejeitos, atentando para a exigência de sustentabilidade (pg. 36)
PPC 3	inclusão social e promoção do desenvolvimento sustentável e ambientalmente responsável (pg. 18)
	contribuir com o desenvolvimento global da sociedade, em harmonia com o meio ambiente, através da teorização, do desenvolvimento e produção de processos, estruturas e máquinas de valor prático e econômico. (pg. 19)

PPC 1 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Materiais. PPC 2 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção. PPC 3 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

No PPC 1, essa ênfase é evidente no papel dos engenheiros como agentes de novas propostas tecnológicas. Há um foco no desenvolvimento de materiais mais eficazes, econômicos e menos poluentes, com um forte direcionamento para a sustentabilidade. Além disso, destaca a importância de explorar os recursos naturais de forma sustentável, especialmente devido ao potencial econômico da região com suas jazidas de minérios.

No PPC 2, sublinha-se a necessidade crescente de mão de obra qualificada para promover o desenvolvimento sustentável da região. De acordo com Sturm *et al.* (2015), apesar do curso de Engenharia de Produção ter se desenvolvido no Brasil, a distribuição geográfica ocorre de maneira heterogênea, com uma concentração nas áreas industriais e economicamente mais bem desenvolvidas, principalmente nas regiões Sudeste e Sul, sendo que esses necessitam de uma reestruturação para atender com eficiência a real necessidade das indústrias e mercado.

Também há um foco no planejamento eficiente dos recursos naturais nos sistemas produtivos, bem como na gestão ambiental e na responsabilidade social (PPC 2). Os alunos são preparados para entender a interação dos sistemas de produção com o meio ambiente, incluindo a utilização de recursos escassos e a disposição final de resíduos, sempre com a exigência de sustentabilidade em mente. O PPC 3 expressa uma preocupação com o desenvolvimento global da sociedade em harmonia com o meio ambiente, através da teorização e desenvolvimento de processos e estruturas que tenham valor prático e econômico.

Os dados da Categoria 3 destacam a importância de avaliar os impactos das atividades de engenharia no contexto social e ambiental, refletindo a necessidade de formar profissionais capazes não apenas de conceber soluções tecnicamente sólidas, mas também considerar a percepção de outros aspectos em suas atividades profissionais (Quadro 9).

Nos PPC 1 e 3, a análise da viabilidade econômica dos projetos também é incluída. Além disso, no PPC 3 destaca a realização de pesquisa científica e tecnológica, juntamente com estudos de viabilidade técnico-econômica. Essa ênfase indica uma preocupação em integrar considerações econômicas ao processo de tomada de decisão na engenharia.

O PPC 2, por sua vez, concentra-se na habilidade de prever a evolução dos cenários produtivos e compreender a interação entre organizações, sugerindo uma abordagem mais estratégica e integrada na análise dos impactos econômicos e produtivos das atividades de engenharia. Esta abordagem indica uma visão sistêmica, reconhecendo a necessidade de compreender não apenas os aspectos técnicos, mas também as dinâmicas e interações que moldam o ambiente empresarial e industrial em que essas atividades estão inseridas.

Quadro 9. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 3 (Avaliação dos impactos ambientais, sociais e/ou econômicos e viabilidade das atividades de engenharia) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia

Categoria 3 –Avaliação dos impactos (ambientais, sociais e/ou econômicos) e viabilidade das atividades de engenharia	
Contexto	
PPC 1	avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental. (pg. 21)
	avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia (pg. 21)
PPC 2	Ser capaz de prever a evolução dos cenários produtivos, percebendo a interação entre as organizações e os seus impactos sobre a competitividade (pg. 36)
PPC 3	realiza pesquisa científica e tecnológica e estudos de viabilidade técnico-econômica. (pg. 10)
	estudo de viabilidade técnico-econômica e ambiental (pg. 23)
	avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental (pg. 26)

PPC 1 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Materiais. PPC 2 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção. PPC 3 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Ao analisar os dados fornecidos para a Categoria 4, que aborda a formação multi e/ou interdisciplinar, destaca-se a importância de ter uma formação ampliada, capacitando os egressos para atuarem não apenas em suas áreas específicas, mas também em ambientes multi e interdisciplinares, que são cada vez mais comuns no ambiente de trabalho contemporâneo (Quadro 10). Os temas relacionados ao meio ambiente, ética e direitos humanos são contemplados nos componentes curriculares de todos os cursos, a fim de formar profissionais socialmente conscientes e éticos.

O PPC 1 enfatiza resolver problemas tecnológicos, evidenciando uma abordagem integrada e interdisciplinar desde a concepção até a aplicação prática dos materiais. No PPC 3, são mencionadas atividades interdisciplinares específicas, como a elaboração de Planos Diretores no âmbito da Agrimensura, demonstrando uma aplicação prática da interdisciplinaridade em projetos específicos da área.

No entanto, a implementação eficaz desses princípios é importante para garantir que os profissionais formados estejam verdadeiramente equipados para enfrentar esses desafios de maneira ética, responsável e inovadora. Por exemplo, pode-se promover experiências práticas e colaborativas que permitam aos alunos desenvolverem habilidades de trabalho em equipe, comunicação e pensamento crítico em contextos multidisciplinares. Além disso, é necessário oferecer oportunidades para que os estudantes possam aplicar seus conhecimentos em situações do mundo real, onde questões éticas, sociais, ambientais e técnicas se entrelaçam.

Quadro 10. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 4 (Formação multi e/ou interdisciplinar) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia

Categoria 4 - Formação multi e/ou interdisciplinar	
Contexto	
PPC 1	formação ampla permite ao profissional egresso não somente a atuação específica, mas também uma atuação em ambientes multi e interdisciplinares, uma demanda que aumenta a cada dia no ambiente de trabalho (pg. 19)
	temas relacionados ao meio ambiente, ética e direitos humanos foram contemplados nos componentes curriculares (p. 7)
	formação multi e interdisciplinar que proporcione a comunicação com diversas áreas do conhecimento. (pg. 19)
	desenvolver atividades na área de materiais em campos diversos de atuação e desenvolvimento de processos e produtos, bem como na seleção, na fabricação, na transformação e na aplicação industrial de materiais tradicionais e avançados. (pg. 18)
	caracterizada como uma engenharia plena de concepção, com incorporação de forte base científica interdisciplinar e voltada para resolver problemas tecnológicos (pg. 19)
	enfoque multidisciplinar e interdisciplinar; articulação com a pesquisa e o mercado de trabalho. (pg. 154)
	interdisciplinaridade e flexibilização curricular, observando tanto os aspectos do progresso social quanto da competência científica e tecnológica (pg. 7)
	interdisciplinaridade deve ser garantida por meio de programas de outras áreas do conhecimento, quer nos eixos do curso, quer nas ementas, atividades e programas complementares. (pg. 15)
	promover a interdisciplinaridade curricular e apoiar a participação do aluno em atividades complementares de experiência profissional. (pg. 18)
	a multi e a interdisciplinaridade de conhecimentos são características intrínsecas da Engenharia de Materiais (pg. 152)
PPC 2	especificar, prever e avaliar os resultados obtidos destes sistemas para a sociedade e o meio ambiente, recorrendo a conhecimentos especializados da matemática, física, ciências humanas e sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análises e projetos de engenharia. (pg. 28)
	o princípio da interdisciplinaridade demonstra que a integração disciplinar possibilita análise dos objetos de estudo sob diversos olhares, constituindo-se questionamentos permanentes que permitam a (re)criação do conhecimento. (pg. 28)
PPC 3	zelar pela integração curricular interdisciplinar entre as diferentes atividades de ensino constantes no currículo. (pg. 15)
	Interdisciplinaridade e articulação entre as atividades que compõem a proposta curricular, evitando-se a pulverização e a fragmentação de conteúdos, bem como a valorização da experiência extra-escolar. (pg. 18)
	multidisciplinar e interdisciplinar e a articulação com a pós-graduação. (pg. 19)
	integração entre os conteúdos das disciplinas e as metodologias pedagógicas utilizadas, pois somente assim poder-se-á obter interdisciplinaridade do conhecimento. (pg. 19)
	atividades interdisciplinares referentes a elaboração de Plano Diretor no âmbito da Agrimensura (pg. 25)

PPC 1 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Materiais. PPC 2 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção. PPC 3 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Com base nos dados da Categoria 5, destaca-se a importância da capacidade dos engenheiros em identificar, formular e solucionar problemas complexos, considerando aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais. Essa abordagem evidencia a necessidade de visão sistêmica na resolução dos desafios enfrentados pela sociedade (Quadro 11).

Quadro 11. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 5 (Solução de problemas) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia

Categoria 5 - Solução de problemas	
Contexto	
PPC 1	contribuir para o desenvolvimento de competências na solução de problemas ambientais (pg. 154)
	atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade. (pg. 7)
	utilização dos conhecimentos básicos na compreensão dos fenômenos físicos, químicos, ambientais, econômicos, sociais e de gerenciamento envolvidos na resolução de problemas de engenharia. (pg. 25)
	formular e resolver problemas de engenharia (pg. 21)
	desenvolver a capacidade de solucionar problemas, liderar, tomar decisões e adaptar-se a novas situações. (pg. 18)
	identificar, formular e buscar soluções para problemas industriais, científicos, experimentais e teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso de instrumentos laboratoriais, computacionais ou matemáticos adequados.
	fiscalizar a qualidade da produção, pesquisar as causas de problemas e propor soluções ou alterações no processo industrial. (pg. 21)
	desenvolver a capacidade de planejamento e disciplina para resolver problemas dentro das diversas áreas de atuação. (pg. 154)
	atividades práticas são desenvolvidas com ênfase na execução e observação de experimentos, com contextualização e resoluções de situações problemas (pg. 153)
	oportunidade de observar, participar, analisar, refletir, levantar problemas, investigar e propor soluções. (pg. 153)
	desenvolver a capacidade de planejamento e disciplina para resolver problemas dentro das diversas áreas de atuação. (pg. 154)
	ênfase na solução de problemas e na formação de engenheiros adaptáveis (pg. 154)
PPC 2	estimular o conhecimento dos problemas, em particular os nacionais e regionais, prestar serviços especializados à comunidade e estabelecer com esta uma relação de reciprocidade (pg. 10)
	a resolução de problemas reais envolvendo situações de tomada de decisão, através de modelos matemáticos habitualmente processados computacionalmente. (pg. 30)
	resolver problemas, com visão sistêmica de processos, integrando aspectos humanos, econômicos, sociais, políticos e ambientais, em atendimento às demandas da sociedade. (pg. 33)
	que seja capaz de pensar e aprender a aprender, detectar e solucionar problemas (pg. 34)
	identificar, formular e solucionar problemas ligados às atividades de projeto, operação e gerenciamento do trabalho e de sistemas de produção de bens e/ou serviços,

Categoria 5 - Solução de problemas	
	considerando seus aspectos humanos, econômicos, sociais e ambientais, com visão ética e humanística em atendimento às demandas da sociedade". (pg. 35)
	absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulado a atuar crítica e criativamente na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais e culturais, com visão ética e humanística em atendimento às demandas da sociedade (pg. 35)
	contribuir para o desenvolvimento de competências na solução de problemas ambientais; (pg. 107)
PPC 3	atua na resolução de problemas relacionados com ordenamento territorial, mapeamento e emprego de dados e informações espaciais. (pg. 10)
	observar, participar, analisar, refletir, levantar problemas, propor soluções e investigar, dentro e fora da UFPI. (pg. 19)
	ênfase na solução de problemas de engenharia e na formação de profissionais adaptáveis. (pg. 19)
	compreender uma sólida formação técnica, científica e profissional geral que capacite o profissional a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas. (pg. 20)
	capacidade para envolver-se em questões sociais para a utilização do conhecimento adquirido na solução de problemas principalmente sócio-ambientais. (pg. 21)
	identificar, formular e resolver problemas de engenharia. (pg. 26)

PPC 1 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Materiais. PPC 2 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção. PPC 3 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Todos os PPC têm como objetivo contribuir para o desenvolvimento de competências na solução de problemas, incentivando os alunos a pensarem criticamente, aprender continuamente e adaptar-se a novas situações, formando profissionais flexíveis e preparados para lidar com desafios em constante evolução da crise ambiental.

Em síntese, cada curso tem sua própria ênfase específica na resolução de problemas. O PPC 1 está alinhado com as demandas e desafios enfrentados pela indústria, preparando os alunos para serem profissionais aptos a enfrentar os problemas e necessidades do setor industrial. No PPC 2, o foco está em estimular o conhecimento dos problemas nacionais e regionais, além de prestar serviços especializados à comunidade. No PPC 3, o objetivo é atuar na resolução de problemas relacionados ao ordenamento territorial, mapeamento e emprego de dados espaciais, com ênfase na solução de problemas socioambientais.

No Brasil[1], há uma crescente demanda das indústrias por profissionais formados em engenharia, como destacado por Kimel e Sinnott (2018). Nesse contexto, a formação em engenharia deve evoluir continuamente para atender às demandas emergentes da sociedade,

[1] 46 Instituições de Ensino Superior autorizadas pelo Ministério da Educação (MEC) ofertam o curso bacharelado em Engenharia de Materiais, 679 ofertam o curso de curso de Engenharia de Produção e 14 ofertam o curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura (https://emec.mec.gov.br/).

capacitando os futuros profissionais não apenas a serem técnicos habilidosos, mas também para enfrentarem os desafios complexos e interdisciplinares do mundo real. Além disso, a ética profissional e a responsabilidade social são fundamentais, a fim de garantir que as soluções desenvolvidas resolvam problemas imediatos, mas também considerem os impactos a longo prazo nas comunidades e no meio ambiente.

Os dados da Categoria 6, que trata do pensamento crítico e/ou reflexivo, ressaltam a importância do desenvolvimento do espírito científico e do pensamento reflexivo entre os estudantes, bem como a necessidade de promover o questionamento constante dos fatos e o desenvolvimento do espírito crítico nos futuros profissionais. Há uma preocupação evidente com a formação de indivíduos capacitados não apenas a compreender, mas também a intervir na realidade, buscando transformá-la de maneira ética e criativa (Quadro 12).

O PPC1 menciona a importância de discutir a realidade socioeconômica para adotar uma postura crítica construtiva na prática profissional, visando formar profissionais socialmente conscientes e engajados, capazes de identificar e analisar as questões socioeconômicas em seu campo de atuação e propor soluções que levem em conta as complexidades do contexto social.

Por outro lado, o PPC 2 enfatiza o desenvolvimento da autonomia intelectual e a capacidade de coordenar e atuar em equipes multidisciplinares. Esta abordagem valoriza a interação entre diversos saberes e a capacidade de trabalhar em conjunto para alcançar objetivos comuns, preparando os estudantes para ambientes profissionais que demandam cooperação e sinergia entre múltiplas disciplinas.

Além disso, os PPC também diferem na forma na abordagem da relação entre teoria e prática no desenvolvimento do pensamento crítico. Enquanto o destaca a integração entre teoria, prática e pesquisa como forma de estimular o pensamento crítico (PPC 1), o outro menciona a compreensão do passado e a projeção do futuro como elementos-chave (PPC 2).

A ênfase na visão histórico-social também varia entre os PPCs. Enquanto um destaca a necessidade de desenvolver essa visão para o exercício da profissão (PPC 3), o outro enfatiza mais aspectos como a formação de profissionais comprometidos com o avanço científico e a qualidade de vida (PPC 2).

Em resumo, os dados destacam a diversidade de abordagens no desenvolvimento do pensamento crítico nos cursos de engenharia, mas também ressaltam a importância comum atribuída a essa habilidade para o exercício ético e eficaz da profissão, bem como para a promoção do progresso científico e social.

Quadro 12. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 6 (Solução de problemas) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia

Categoria 6 – Pensamento crítico e/ou reflexivo	
Contexto	
PPC 1	discutir a realidade socioeconômica para adotar uma postura crítica construtiva na prática profissional. (pg. 18)
	o ensino deve integrar teoria e prática, problematizar a realidade e propiciar ao discente domínio de conhecimentos gerais e específicos da área, pensamento crítico e transformador (pg. 153)
	associado à pesquisa, o ensino constitui-se numa forma das mais inovadoras de estabelecimento da relação entre a teoria e a prática profissional, pois retira o estudante da posição de receptor do conhecimento e contribui para a formação de atitudes investigativas, do pensamento crítico e da construção do conhecimento e da autonomia. (pg. 15)
	estimular o desenvolvimento do espírito científico e do pensamento reflexivo, formar profissionais aptos para a participação no desenvolvimento da sociedade brasileira, promover a divulgação de conhecimentos culturais, científicos e técnicos que constituem patrimônio da humanidade e a estimulação no gerenciamento das habilidades de administrar problemas da atualidade, em particular os nacionais e regionais. (pg. 17)
PPC 2	estimular a criação cultural e o desenvolvimento do espírito científico e do pensamento reflexivo (pg. 10)
	desenvolver o espírito crítico e a autonomia intelectual, para que o profissional por meio do questionamento permanente dos fatos possa contribuir para o atendimento das necessidades sociais; (pg. 28)
	compreender o passado e projetar o futuro, que seja comprometido com o avanço científico, filosófico e cultural, que promova a qualidade de vida e bem-estar social, que respeite os direitos humanos e o equilíbrio ecológico (pg. 35)
	ser criativo e flexível, ter espírito crítico, iniciativa, capacidade de julgamento e tomada de decisão, ser apto a coordenar e atuar em equipes multidisciplinares, ter habilidade em comunicação oral e escrita e saber valorizar a formação continuada. (pg. 35)
PPC 3	desenvolver uma visão histórico-social, necessária ao exercício de sua profissão, como um profissional crítico, criativo e ético, capaz de compreender e intervir na realidade e transformá-la. (pg. 21)

PPC 1 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Materiais. PPC 2 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção. PPC 3 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Os dados da Categoria 7 revelam diferentes ênfases nos PPC de engenharia. Enquanto o PPC 1 direciona seu foco principalmente para a gestão dos fatores que influenciam na qualidade do produto, o PPC de Engenharia de Produção (PPC 2) aborda de maneira mais ampla de tópicos, incluindo projetos, operações, melhorias de sistemas, técnicas de transporte, estoque e armazenamento, entre outros (Quadro 13).

Além disso, o PPC 2 destaca a importância de projetar e implementar sistemas, produtos e processos levando em consideração os limites e características das comunidades envolvidas,

o que indica uma perspectiva mais abrangente em termos de integração com as necessidades sociais e ambientais.

Por sua vez, o PPC 3 menciona especificamente a concepção, projeto e análise de sistemas, produtos e processos, porém com uma possível ênfase diferenciada, considerando a natureza específica do campo de atuação em cartografia e agrimensura.

Quadro 13. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 7 (Gestão e análise de produtos, processos e/ou serviços) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia

Categoria 7 – Gestão e análise de produtos, processos e/ou serviços	
Contexto	
PPC 1	gerenciar os fatores que influem na qualidade do produto, acompanhando todo o processo de fabricação, desde a seleção de matérias-primas até a saída do produto final, de modo a garantir o cumprimento das normas e especificações técnicas. (pg. 22)
	conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos (pg. 21)
PPC 2	projetos, operações e melhorias dos sistemas que criam e entregam os produtos (bens ou serviços) primários da empresa. (pg. 30)
	técnicas para o tratamento das principais questões envolvendo o transporte, a movimentação, o estoque e o armazenamento de insumos e produtos, visando a redução de custos, a garantia da disponibilidade do produto, bem como o atendimento dos níveis de exigências dos clientes. (pg. 30)
	projeto, aperfeiçoamento, implantação e avaliação de tarefas, sistemas de trabalho, produtos, ambientes e sistemas para fazê-los compatíveis com as necessidades, habilidades e capacidades das pessoas visando a melhor qualidade e produtividade, preservando a saúde e integridade física. (pg. 32)
	conjunto de ferramentas e processos de projeto, planejamento, organização, decisão e execução envolvidas nas atividades estratégicas e operacionais de desenvolvimento de novos produtos, compreendendo desde a concepção até o lançamento do produto e sua retirada do mercado com a participação das diversas áreas funcionais da empresa. (pg. 31)
	ser capaz de projetar, implementar e aperfeiçoar sistemas, produtos e processos, levando em consideração os limites e as características das comunidades envolvidas; (pg. 36)
	ser capaz de prever e analisar demandas, selecionar tecnologias e *know-how*, projetando produtos ou melhorando suas características e funcionalidade (pg. 36)
	Ser capaz de incorporar conceito e técnicas da qualidade em todo o sistema produtivo, tanto nos seus aspectos tecnológicos quanto organizacionais, aprimorando produtos e processos, e produzindo normas e procedimentos de controle e auditoria (pg. 36)
	projetos e gerência de sistemas que envolvam pessoas, materiais, equipamentos e meio ambiente (pg. 37)
PPC 3	Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos. (pg. 26)

PPC 1 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Materiais. PPC 2 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção. PPC 3 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

A partir da perspectiva do PCV, os currículos podem ser projetados para capacitar os estudantes a entenderem não apenas as implicações imediatas de suas decisões de projeto, mas avaliar de maneira sistêmica os impactos ambientais, sociais e econômicos ao longo de todo o ciclo de vida do produto, processo ou serviço (Cosme *et al.*, 2019; Olsen *et al.*, 2018; Viere *et al.*, 2016)

Na Categoria 8, o PPC 2 destaca o planejamento, projeto e controle de sistemas de gestão da qualidade como parte do processo de tomada de decisão estratégica, dando ênfase na qualidade como um componente das decisões estratégicas dentro do campo da Engenharia de Produção, reconhecendo a necessidade de processos eficientes e consistentes para garantir a satisfação do cliente e a eficácia operacional (Quadro 14).

Quadro 14. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na Categoria 7 (Tomada de decisão estratégica) em Projetos Pedagógicos de Cursos de Engenharia

Categoria 8 – Tomada de decisão estratégica	
Contexto	
PPC 1	tomada de decisão planejada e alinhada com as mudanças que afetam a formação profissional (pg. 16)
PPC 2	introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão, sem descuidar dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas (pg. 30)
	planejamento, projeto e controle de sistemas de gestão da qualidade que considerem o gerenciamento por processos, a abordagem factual para a tomada de decisão e a utilização de ferramentas da qualidade (pg. 31)
	formulação, estimação e avaliação de resultados econômicos para avaliar alternativas para a tomada de decisão, consistindo em um conjunto de técnicas matemáticas que simplificam a comparação econômica. (pg. 32)
	ser capaz de utilizar ferramental matemático e estatístico para modelar sistemas de produção e auxiliar na tomada de decisões (pg. 36)

PPC 1 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Materiais. PPC 2 - Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Produção.

Por outro lado, o PPC de Engenharia de Materiais não menciona explicitamente a gestão da qualidade como parte da tomada de decisão estratégica. O PPC 1 menciona apenas a tomada de decisão planejada e alinhada com as mudanças que afetam a formação profissional.

Ademais, o PPC 2 menciona a formulação, estimação e avaliação de resultados econômicos como parte do processo de tomada de decisão. Isso sugere que a Engenharia de Produção enfatiza a importância de análises financeiras e econômicas na avaliação de alternativas estratégicas, visando possivelmente maximizar o retorno sobre o investimento e

otimizar os recursos disponíveis. Por outro lado, o PPC 1 não faz menção explícita à avaliação de resultados econômicos como parte do processo de tomada de decisão. Essas discrepâncias destacam diferenças na abordagem entre os dois campos de engenharia, enfatizando a importância de considerar as necessidades específicas e as demandas do mercado ao desenvolver currículos e programas educacionais.

Entretanto, surgem os seguintes questionamentos: De que maneira todos os elementos mencionados no currículo do curso são conduzidos durante a formação acadêmica para que os discentes tenham resultados de aprendizagens alinhados com a perspectiva do PCV? Quais são as estratégias metodológicas utilizadas pelos professores para que os alunos desenvolvam essas competências e habilidades? A fim de elucidar esses questionamentos, seguiu-se com a análise dos planos das disciplinas ofertadas pelos cursos.

5.2 Mapeamento das disciplinas dos cursos de engenharia

5.2.1 Engenharia de Materiais

Foram analisados um total de 173 planos de disciplina dos três cursos de engenharia. Das 84 disciplinas que compõem a matriz curricular do curso de Engenharia de Materiais não foi possível analisar 10 (destacadas em vermelho) delas devido à falta de acesso aos respectivos planos de ensino. Dos 74 planos analisados, verificou-se que 50 deles contém elementos associados ao PCV ou potencial para implementar a abordagem (Apêndice A).

Na seção de conteúdos, identificou-se que 15 disciplinas[2] possuem conteúdos relacionados às questões ambientais/sociais/econômicas, evidenciando a abordagem dessa temática. Além disso, constatou-se que cinco dessas disciplinas (Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho, Ciências do Ambiente, Ergonomia, Fundição e Reciclagem de Materiais) preveem a discussão dos impactos dessas questões.

Entretanto, não foram identificadas disciplinas que abordem o ensino dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da economia circular, *ecodesign*, logística reversa, normas baseadas no PCV, ciclo de vida de produtos/processos/serviços e Responsabilidade Socioambiental Corporativa.

Exceto pelos ODS, esses temas são mais específicos da abordagem do PCV, o que pode explicar a ausência desses elementos nos planos, pois demandam uma formação mais

[2] Materiais Poliméricos; Corrosão de Metais; Introdução à Economia; Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho Ciências do Ambiente; Aditivação e Degradação de Polímeros; Administração e Organização; Metodologia e Técnicas de Pesquisa; Seleção de Materiais; Corrosão de Materiais; Ergonomia; Fundição Psicologia Social; Reciclagem de Materiais; Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade.

especializada dos professores para serem incorporados aos planos de ensino, caso optem por contemplá-los. No entanto, é importante reconhecer a importância desses temas e promover iniciativas que estimulem sua inclusão nos currículos, bem como a capacitação dos professores para abordá-los de forma satisfatória.

Os ODS, por exemplo, representam uma agenda global estabelecida pelas Nações Unidas para enfrentar os desafios sociais, econômicos e ambientais (Organização das Nações Unidas, 2015). Portanto, é desejável que os princípios e metas relacionados a eles sejam incorporados transversalmente em diversas disciplinas, promovendo uma abordagem multidimensional do desenvolvimento sustentável.

Por exemplo, ao considerar o ODS 12: Consumo e Produção Responsáveis, os engenheiros desempenham um papel fundamental na promoção de práticas sustentáveis na indústria. Ao concentrarem-se no desenvolvimento de materiais sustentáveis e processos de produção ecoeficientes, os engenheiros podem contribuir para reduzir o desperdício, a poluição e o consumo de recursos naturais. Estratégias como a gestão de resíduos, a implementação de logística reversa e o uso de ferramentas para mensuração de impactos podem ser exploradas para promover uma abordagem circular na cadeia de produção e traçar estratégias de mitigação dos impactos.

O estudo de Vázquez-Villegas *et al*. (2024) analisou a integração dos ODS no curso de Biomimética e Sustentabilidade, onde 194 projetos foram concluídos, sendo 85,57% focados em tecnologias solares. A maioria dos alunos (n = 187) escolheu a meta nº 7, "Energia Acessível e Limpa", seguida pela meta nº 11, "Cidades e Comunidades Sustentáveis" (n = 134) e a meta nº 13, "Ação Climática" (n = 113). A predominância de projetos de energia limpa reflete uma crescente consciência sobre a transição para fontes renováveis e a urgência de combater as mudanças climáticas. Este estudo demonstra como a educação alinhada com as metas globais de desenvolvimento sustentável pode ter um impacto positivo na formação dos estudantes e na sociedade.

No contexto do conteúdo de química verde, são identificadas duas disciplinas: "Aditivação e Degradação de Polímeros" e "Biomateriais", que abrangem tópicos relacionados a polímeros biodegradáveis e suas aplicações. Para o ensino de gestão ambiental, verificou-se a indicação de livros complementares como referências bibliográficas. Por exemplo, na disciplina de "Reciclagem de Materiais", o livro "Gestão Ambiental na Empresa"[3] é

[3] Donaire, D. (1999), "Gestão Ambiental na Empresa". 2.ed. São Paulo: Atlas.

recomendado, enquanto o livro “Curso de Gestão Ambiental”[4] é indicado para “Ciências do Ambiente”.

Também, foi verificado que apenas a disciplina “Ciências do Ambiente” prevê a discussão ambiental de forma transdisciplinar. Entretanto, a observação direta da prática pedagógica docente se fez necessária para verificar como ocorre, tendo em vista que a mesma foi ofertada por dois docentes diferentes, com formações distintas. Os conteúdos abordados incluem os desequilíbrios ecológicos, as fontes de poluição e suas decorrências para a sociedade, a legislação ambiental e os impactos ambientais.

O mapeamento do plano de ensino da disciplina "Aditivação e Degradação de Polímeros" da Tabela 3, detalha como a disciplina de integra conceitos do PCV e da química verde em seu currículo. A inclusão de tópicos como biodegradabilidade de polímeros, tanto naturais quanto sintéticos, reflete uma ênfase nas questões ambientais e no desenvolvimento de materiais sustentáveis. A aplicação prática dos polímeros biodegradáveis em setores como agricultura, medicina e embalagens, demonstra a relevância econômica e social desses materiais.

Tabela 3. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na disciplina “Aditivação e Degradação de Polímeros” do curso de Engenharia de Materiais

Logística e Cadeia de Suprimentos	**Questões (Q)**
Ementa	
• Biodegradabilidade de polímeros: polímeros biodegradáveis naturais e sintéticos. • Aplicação de polímeros biodegradáveis: agricultura, medicina e embalagens, entre outras.	Q01, Q06
Objetivos	
• Estudar o efeito de diversos tipos de aditivos através de casos reais de incorporação.	Q13, Q15
Conteúdo programático	
• Conceitos de biodegradação; oxibiodegradação; compostagem. • Tendências de aplicação de polímeros biodegradáveis: vantagens, requisitos e limitações.	Q01, Q06
Metodologia	
• Estudos de caso	Q23

Q01. Ementa/conteúdos relacionados às questões ambientais, sociais e/ou econômicas. Q04. Economia circular/ecodesign/logística reversa Q06. Conteúdo de química verde. Q13. Em quais disciplinas podem ser apresentadas e discutidas ferramentas relacionadas ao ciclo de vida? Q15. Em quais disciplinas pode ser incluída a ACV básica? Q23. Estudos de casos e/ou atividades de resolução de problemas.
Fonte: Elaborado pelas autoras.

[4] Philippi Jr, A.., Roméro, M.A., Bruna, G.C. (2014), “Curso de gestão ambiental”. 2 ed. São Paulo: Manole.

Na seção de práticas, verificou-se que em 19 disciplinas é possível apresentar e discutir ferramentas relacionadas ao ciclo de vida, indicando um enfoque mais específico da temática e a necessidade de incluir, inicialmente, os tópicos básicos associados ao PCV. Além disso, nove disciplinas[5] possibilitam a inclusão da ACV básica por meio do uso de planilhas do *Excel*, principalmente, no que se refere às questões econômicas e ambientais. Também, foram verificadas oito disciplinas[6] que preveem a realização de práticas em laboratórios, visitas técnicas ou estágios. Essas atividades permitem aos estudantes uma vivência mais prática e aplicada dos conceitos abordados em sala de aula.

Na seção de habilidades, foram constatadas 17 disciplinas[7], nas quais as habilidades mais frequentemente mencionadas foram trabalho em equipe, resolução de problemas e pensamento crítico. Verificou-se, ainda, que as metodologias ativas utilizadas foram mencionadas em sete planos, nos quais se empregava o processo de investigação científica e de situações reais, aplicações práticas, uso de recursos interativos e de gamificação como os aplicativos *Kahoot* e *Quizlet*, e recursos tecnológicos, como, *Padlet* e *Mentimeter*.

Durante a análise, verificou-se que em 16 disciplinas[8] previa-se a realização de estudos de casos e atividades de solução de problemas. Essa abordagem torna-se importante para a formação de engenheiros, uma vez que permite aos alunos aplicarem os conhecimentos teóricos em situações práticas do mundo real. Em síntese, a análise detalhada dos planos de disciplina dos cursos de Engenharia de Materiais revelou tanto pontos positivos quanto oportunidades de melhoria em relação à incorporação de temas relacionados ao PCV.

[5] Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho; Ciências do Ambiente; Aditivação e Degradação de Polímeros; Seleção de Materiais; Ergonomia; Falha Prematura de Polímeros; Reciclagem de Materiais.

[6] Química Experimental; Física Experimental I; Química Analítica Experimental; Física Experimental II; Processamento dos Materiais Poliméricos; Estágio Supervisionado; Prop. Ópticas, Elétrica e Mecânica dos Materiais; Tecnologia de Elastômeros e Termofixos.

[7] Inglês Instrumental; Física Geral I; Probabilidade e Estatística; Física Geral II; Física Geral III; Termodinâmica dos Materiais; Gestão da Qualidade; Eletricidade Básica; Introdução à Economia; Administração e Organização; Metodologia e Técnicas de Pesquisa; Coloides, Superfície e Interfaces; Falha Prematura de Polímeros; Filosofia; Psicologia Social; Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade; Tecnologia do Vidro.

[8] Seminário de Introdução a Eng. de Materiais; Álgebra Linear; Materiais Poliméricos; Métodos Numéricos; Eletricidade Básica; Processamento dos Materiais Poliméricos; Ciências do Ambiente; Aditivação e Degradação de Polímeros; Administração e Organização; Metodologia e Técnicas de Pesquisa; Seleção de Materiais; Argilas Industriais; Ergonomia; Falha Prematura de Polímeros; Tecnologia do Vidro; Tópicos Especiais em Engenharia de Materiais

5.2.2 Engenharia de Produção

Das 90 disciplinas que compõem a matriz curricular do curso de Engenharia de Produção não foi possível analisar 55 (destacadas em vermelho) devido à falta de acesso aos respectivos planos de ensino. Dos 35 planos de disciplinas analisados, verificou-se que em 29 disciplinas contém elementos associados ao PCV (Apêndice B).

Na análise dos conteúdos, identificou-se que 15 disciplinas[9] abordam temáticas relacionados às questões ambientais, sociais e econômicas. Entretanto, as questões econômicas recebem maior ênfase, com destaque para os custos de produção e do produto. As questões sociais também têm um papel relevante, incluindo a relação entre o ser humano, a sociedade e o ambiente de trabalho, além dos direitos humanos e de cidadania.

Por outro lado, as questões ambientais são pouco mencionadas nos planos de ensino, sendo limitadas principalmente à disciplina de Ciências do Ambiente, em que também se observa o ensino de gestão ambiental. Porém, não se observou a incorporação da sustentabilidade no conteúdo programático das demais disciplinas. Além disso, não há menção dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável nem dos princípios da química verde, da economia circular e do *ecodesign.*

Destaca-se a disciplina de "Logística e Cadeia de Suprimentos" (ver mapeamento completo na Tabela 4), na qual é abordado o tema da logística reversa, um processo que envolve o retorno de produtos, materiais ou embalagens do consumidor final de volta ao fabricante, distribuidor ou varejista, com o objetivo de recuperação, reutilização, reciclagem ou descarte adequado (Anne *et al.,* 2015).

Estudos demonstram que a implementação da logística reversa pode melhorar significativamente o desempenho econômico e ambiental das organizações (Campos *et al*., 2020). Além disso, a reciclagem, como decisão importante no processo de logística reversa, contribui para aumentar a satisfação do cliente, reduzir a pegada de carbono, diminuir custos e ampliar a participação no mercado (Kaihan; Chin, 2021).

Na disciplina "Ergonomia" observa-se o ensino dos impactos sociais por meio da bibliografia complementar, que inclui a referência intitulada "Segurança do trabalho: guia prático e didático"[10]. Da mesma forma, a disciplina de "Higiene, Saúde e Segurança do

[9] Introdução à Economia; Engenharia de Métodos; Ergonomia; Engenharia de Econômica e Finanças I; Gestão da Manutenção; Projeto do Produto e do Processo; Planejamento e Controle da Produção I; Gestão de Projetos; Planejamento e Controle da Produção II; Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho; Automação; Projeto de Instalações; Ciências do Ambiente; Engenharia, Ética e Sociedade; Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade.

[10] BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P. Segurança do trabalho: guia prático e didático. São Paulo: Érica, 2013.

Trabalho" também enfatiza os impactos sociais voltados para a saúde dos trabalhadores. Já a disciplina de "Ciências do Ambiente" aborda os desequilíbrios ecológicos, os diferentes tipos de poluição ambiental e os impactos ambientais de projetos de engenharia.

Tabela 4. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na disciplina "Logística e Cadeia de Suprimentos" do curso de Engenharia de Produção

Logística e Cadeia de Suprimentos	**Questões (Q)**
Ementa	
• Indicadores de Desempenho e Custo Total	Q01
• Planejamento e Operações de Transporte	Q01
• Logística Reversa	Q01, Q04
Objetivos	
• Aplicar métodos quantitativos para a resolução dos problemas de logística na cadeia de suprimentos.	Q13, Q20, Q15
Metodologia	
• Estudos de caso	Q23
• Aulas de laboratório (software)	Q18
• Visitas técnicas	Q18

Q01. Ementa/conteúdos relacionados às questões ambientais, sociais e/ou econômicas. Q04. Economia circular/*ecodesign*/logística reversa Q13. Em quais disciplinas podem ser apresentadas e discutidas ferramentas relacionadas ao ciclo de vida? Q15. Em quais disciplinas pode ser incluída a ACV básica? Q18. Práticas em laboratórios, visitas técnicas ou estágios. Q20. Desenvolvimento de habilidades. Q23. Estudos de casos e/ou atividades de resolução de problemas.
Fonte: Elaborado pelas autoras.

Outra disciplina que se destaca é "Projeto do Produto e do Processo", que inclui o ensino do ciclo de vida do produto, uma temática diretamente associada ao PCV, contribuindo para a formação dos estudantes de engenharia, proporcionando-lhes uma compreensão de todo o ciclo de vida um produto, desde a fase de extração de recursos naturais até a sua disposição final, ou reintegração ao ciclo por meio da reciclagem ou reutilização.

Além disso, inclui o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), refletindo a complexidade e interconexão dos processos na criação de produtos sustentáveis. O PDP promove uma abordagem sistêmica e crítica, ensinando os estudantes a considerarem todas as fases do ciclo de vida do produto e a entenderem como cada fase impacta e é impactada pelas outras (Szejka *et al.,* 2017).

Vale ressaltar que o professor responsável por esta disciplina possui formação doutoral na área de Desenvolvimento e Meio Ambiente, incluindo expertise em sustentabilidade. Esta qualificação avançada fortalece a integração e o aprofundamento dessas temáticas nos planos de aula, enriquecendo o aprendizado dos estudantes.

No entanto, é importante notar que mesmo professores sem uma formação específica em sustentabilidade também podem incorporar esses conceitos em suas disciplinas. Para isso, é necessário que as instituições de ensino forneçam suporte adequado, como recursos didáticos apropriados e oportunidades de capacitação contínua (Termaat, 2023; Wang *et al.*, 2020).

Por outro lado, não foi identificado o uso de *softwares* e bancos de dados específicos. No entanto, foi verificado que em 19 disciplinas[11] existe a possibilidade de apresentar e discutir ferramentas associadas ao ciclo de vida, e em 13 disciplinas[12] há a possibilidade de inclusão da ACV básica com o uso de planilhas do *Excel*.

Também foram observadas cinco disciplinas[13] que preveem práticas em laboratórios. Em duas delas, são incluídas práticas dinâmicas. Na disciplina "Tópicos em Engenharia de Produção", são previstas práticas dinâmicas, embora não esteja especificado de que maneira essas práticas são realizadas. Já na disciplina "Planejamento e Controle da Produção II", utiliza-se um jogo simulador de chão de fábrica, proporcionando aos estudantes uma experiência mais imersiva em ambientes industriais simulados (Girotti; Mesquita, 2016). No entanto, com base nos planos, as visitas técnicas são menos frequentes.

Na seção de habilidades, observou-se que 9 disciplinas[14] incluem o trabalho em equipe, o pensamento crítico e reflexivo, a resolução de problemas e a comunicação. Foi identificado o emprego de metodologias ativas em apenas duas disciplinas, nas quais eram utilizadas aulas de laboratório dinâmicas (Tópicos em Engenharia de Produção) e a gamificação (Planejamento e Controle da Produção II) como estratégias de ensino. Essa constatação levanta a preocupação de que os estudantes não estejam sendo expostos a abordagens de ensino mais dinâmicas e

[11] Tópicos em Engenharia de Produção; Engenharia de Métodos; Gestão da Qualidade; Organização do Trabalho e Sistemas; Ergonomia; Controle Estatístico da Qualidade; Engenharia Econômica e Finanças I; Gestão da Manutenção; Projeto do Produto e do Processo; Planejamento e Controle da Produção I; Gestão de Projetos; Planejamento e Controle da Produção II; Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho; Estratégia Empresarial; Automação; Logística e Cadeia de Suprimentos; Ciências do Ambiente; Engenharia, Ética e Sociedade; Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade.

[12] Tópicos em Engenharia de Produção; Gestão da Qualidade; Ergonomia; Controle Estatístico da Qualidade; Engenharia Econômica e Finanças I; Gestão da Manutenção; Projeto do Produto e do Processo; Planejamento e Controle da Produção I; Gestão de Projetos; Planejamento e Controle da Produção II; Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho; Logística e Cadeia de Suprimentos; Ciências do Ambiente.

[13] Tópicos em Engenharia de Produção; Física Experimental I; Engenharia de Métodos; Planejamento e Controle da Produção II; Logística e Cadeia de Suprimentos.

[14] Introdução à Economia; Gestão da Qualidade; Eletricidade Básica; Planejamento e Controle da Produção II; Automação; Logística e Cadeia de Suprimentos; Inglês Instrumental; Propriedade Intelectual; Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade.

participativas, que têm o potencial de melhorar significativamente o engajamento e o aprendizado ao longo do currículo.

Foram observadas 10 disciplinas[15] que preveem a realização de estudos de casos, oferecendo aos estudantes a oportunidade de aplicar seus conhecimentos em situações reais. Três disciplinas (Álgebra Linear, Métodos Numéricos e Eletricidade Básica) também incluem atividades voltadas para a solução de problemas. Entretanto, não foi observado o estudo de casos reais em colaboração com empresas ou outras organizações.

5.2.2 Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

No curso de engenharia Cartográfica e de Agrimensura, foi realizado um levantamento de 64 planos de disciplina, sendo dois[16] deles não obtidos para análise (destacados em vermelho). Entre os planos analisados, verificou-se a presença de elementos associados ao PCV em 24 disciplinas, porém não foi possível acessar informações sobre as metodologias de ensino utilizadas, uma vez que essas informações não constavam nos planos analisados (Apêndice C).

É importante ressaltar que, de acordo com o Regulamento Geral da Graduação da UFPI, o plano de ensino de uma disciplina deve conter identificação, ementa, objetivos, metodologia de ensino, conteúdo programático, recursos de ensino, sistemática de avaliação da aprendizagem, referências básicas e complementares, cronograma das aulas e avaliações (UFPI, 2023).

Identificou-se que o curso contempla as questões ambientais, sociais e econômicas em 13 disciplinas[17]. Esses conteúdos abrangem tópicos como a relação entre indivíduo e sociedade, direitos humanos e de cidadania, o desenvolvimento do sistema de transportes e seus impactos ambientais, bem como conceitos econômicos como *trade-off*, vantagem comparativa, interação entre demanda e mercado, escolhas do consumidor e economia comportamental. Também são abordados fenômenos hidrológicos, climáticos e saneamento básico.

O curso também dedica atenção à geologia, explorando tanto os processos construtivos quanto destrutivos, além de abordar a geologia econômica, proporcionando uma compreensão

[15] Introdução à Engenharia de Produção; Tópicos em Engenharia de Produção; Engenharia e Ciência dos Materiais; Ergonomia; Engenharia Econômica e Finanças I; Projeto do Produto e do Processo; Planejamento e Controle da Produção II; Estratégia Empresarial; Logística e Cadeia de Suprimentos; Ciências do Ambiente.
[16] Projeto de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura; Comunicação e Expressão.

[17] Ciências do Ambiente; Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania; Transportes; Elementos de Economia; Fundamentos de Geologia e Geoquímica; Hidrologia; Saneamento Básico; Parcelamento Territorial; Projeto de Estradas; Pavimentação Engenharia; Engenharia de Tráfego; Fotogrametria II; Obras de Terra; Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade.

dos aspectos geológicos envolvidos nas atividades de engenharia, considerando os impactos ambientais e econômicos.

Destaca-se ainda a inclusão de estudos de viabilidade econômica em diversas áreas, como o parcelamento territorial, o planejamento urbano com caráter interdisciplinar, a ecologia, desenvolvimento sustentável e as cidades. Adicionalmente, são abordados estudos de viabilidade econômica relacionados a aspectos topográficos, geotécnicos, geológicos, de tráfego e interferência no ecossistema.

O estudo de impacto ambiental e a análise dos impactos ambientais em obras de pavimentação também são contemplados (Tabela 5), assim como a consideração dos elementos que influenciam o trânsito, como o meio ambiente, e inclui os tópicos acidentes e poluição. A viabilidade econômica de um plano de voo e o estudo topográfico, hidrológico, geológico e geotécnico da implantação de uma barragem também são abordados. Outro tópico que se destaca é o esgotamento do lençol freático.

O mapeamento completo do plano de disciplina “Pavimentação Engenharia” pode ser observado na Tabela 5. A inclusão das misturas asfálticas recicladas como tema no conteúdo programático da disciplina, demonstra compromisso com a reciclagem e a reutilização de materiais, alinhando-se aos princípios da economia circular e contribuindo para a redução do impacto ambiental.

Tabela 5. Elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida na disciplina “Pavimentação Engenharia” do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

Pavimentação Engenharia	**Questões (Q)**
Ementa	
• Estimativas de custos das obras • Interferências com o meio ambiente	Q01, Q07
Conteúdo programático	
• Misturas asfálticas recicladas • Estudos de Impacto Ambiental • Impactos ambientais em obras de pavimentação	Q01, 07, Q13, Q15

Q01. Ementa/conteúdos relacionados às questões ambientais, sociais e/ou econômicas. Q07. Discussão dos impactos ambientais/sociais/econômicos. Q13. Em quais disciplinas podem ser apresentadas e discutidas ferramentas relacionadas ao ciclo de vida? Q15. Em quais disciplinas pode ser incluída a ACV básica?
Fonte: Elaborado pelas autoras.

Além disso, a ênfase nos estudos de impacto ambiental e nos impactos ambientais em obras de pavimentação promove uma compreensão aprofundada das consequências ambientais das atividades de engenharia, incentivando os estudantes a adotarem práticas mais sustentáveis em suas futuras carreiras. A possibilidade de incluir a ACV básica reforça a necessidade de

uma avaliação abrangente dos impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida dos materiais e processos utilizados na pavimentação.

Portanto, a presença desses elementos reflete a importância de considerar aspectos ambientais, sociais e econômicos na formação dos futuros profissionais, capacitando-os para enfrentar os desafios contemporâneos e contribuir para o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida nas comunidades onde atuarão.

Na seção de práticas, foram identificadas sete disciplinas[18] com possibilidade para uso das ferramentas relacionadas ao ciclo de vida. Além disso, em 11 disciplinas[19], há a possibilidade de utilização da ACV básica por meio do uso de planilhas do *Excel*. Apenas a disciplina de Mecânica dos Solos inclui a realização de práticas laboratoriais, enquanto a disciplina de Engenharia de Tráfego prevê visitas a estabelecimentos e empresas de transporte.

As habilidades foram verificadas em seis disciplinas[20], que incluem a capacidade de resolver e elaborar problemas, planejar e tomar decisões, adquirir e aperfeiçoar conhecimentos e trabalhar em equipe. Essas habilidades são fundamentais para a formação dos alunos, preparando-os para enfrentar desafios em diferentes contextos.

Embora a disciplina "Sistema de Informação Geográfica" não apresente, conforme o roteiro, elementos diretamente associados ao Pensamento do Ciclo de Vida, existe potencial para contribuir com a implementação dessa abordagem. A ementa abrange tópicos como modelagem espacial, relacionamento, manipulação e análise de dados espaciais. A bibliografia básica recomendada inclui obras como "Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano[21]" e "Geoprocessamento e análise ambiental[22]"., que oferece suporte teórico e prático para essas atividades, fortalecendo a capacidade de tomar decisões informadas e atuar em ambientes complexos e dinâmicos.

---

[18] Ciências do Ambiente; Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania; Transportes; Elementos de Economia; Administração e Organização de Empresas; Pavimentação Engenharia; Higiene, Segurança do Trabalho; Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade.

[19] Ciências do Ambiente; Probabilidade e Estatística T; Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania; Transportes; Fundamentos de Geologia e Geoquímica; Administração e Organização de Empresas; Saneamento Básico; Parcelamento Territorial; Projeto de Estradas; Pavimentação Engenharia; Equipamento de Construção.

[20] Probabilidade e Estatística T; Administração e Organização de Empresas; Trabalho de Conclusão de Cursos II; Física Geral II T; Química Geral; Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade.

[21] MOURA, A. C.M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. 2ed.Belo Horizonte: s.n. 2005.294p.

[22] SILVA, J. X. da., ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações. 2ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 363p.

Com base nesses conteúdos, é possível realizar o mapeamento e a análise da distribuição espacial dos recursos naturais. Essa prática permite identificar áreas críticas de impacto ambiental e projetar intervenções mais eficazes, alinhando-se a abordagem do PCV.

No contexto dos cursos de graduação, a ênfase na construção de conceitos básicos de sustentabilidade ganha destaque, pois é esse alicerce que permitirá aos estudantes desenvolverem habilidades e competências ao longo de suas trajetórias acadêmicas. Entretanto, os desafios para a integração plena da sustentabilidade nos currículos de Engenharia são consideráveis. Eles incluem a necessidade de mudança paradigmática nos métodos de ensino, a capacitação dos docentes e a adaptação dos conteúdos programáticos.

6 A DISCIPLINA CIÊNCIAS DO AMBIENTE NAS ENGENHARIAS E REFLEXÕES SOBRE A PRÁTICA DOCENTE

No curso de Engenharia de Materiais, a disciplina Ciências do Ambiente possui carga horária de 60 horas, enquanto nos cursos de Engenharia de Produção e Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, possui 45 horas.

Os cursos de Engenharia de Materiais e de Engenharia de Produção apresentam ementas iguais, enquanto o curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura possui alguns tópicos diferentes em relação aos outros dois. A seguir, são descritas as ementas para os três cursos:

- **Engenharia de Materiais e Engenharia de Produção:**

Fatores causadores da crise ambiental. Noções de Ecologia. Ciclos Biogeoquímicos. Efeitos antrópicos na biosfera. Ar: composição e poluição. Solo: formação, composição e poluição. Água: usos consuntivos e não consuntivos, classificação dos corpos hídricos e poluição. Preservação e conservação dos recursos naturais. Fontes de energia. Introdução à legislação ambiental brasileira. Aspectos ambientais no planejamento urbano e rural.

- **Engenharia Cartográfica e de Agrimensura:**

Engenharia e meio ambiente. Noções gerais de ecologia. Noções de ecossistema. Ciclos biogeoquímicos. Definição de meio ambiente: interligações do homem ao meio terrestre. Ar: noções de poluição atmosférica. Solo: composição e propriedades. Aspectos ecológicos. Importância da vegetação no equilíbrio ecológico. Lixo e poluição do solo. Aspectos ecológicos. O meio aquático: necessidade e utilização de água. Requisitos de qualidade da água. Poluição das águas. Compostos biodegradadores, compostos resistentes e biodegradação. Fontes de energia: exploração racional e utilização, esgotamento de reservas. Noções sobre contaminação radioativa do ambiente. Gestão ambiental.

No plano da disciplina, foi identificada a abordagem dos tópicos de Pensamento do Ciclo de Vida e Avaliação do Ciclo de Vida como parte do conteúdo de Avaliação de Impacto Ambiental. Diante disso, surgiu o seguinte questionamento: de que forma os docentes implementaram a abordagem do PCV nos cursos de engenharia por meio dessa disciplina?

Para responder a essa questão, foram observadas duas situações de prática docente em sala de aula:

Situação 1: Disciplina “Ciências do Ambiente” ministrada para os cursos de Engenharia de Materiais e de Engenharia de Produção pelo Docente A.

Situação 2: Disciplina “Ciências do Ambiente” ministrada para os cursos de Engenharia de Produção e de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura pelo Docente B.

Com base na observação direta da prática docente em ambiente virtual de ensino, foram analisadas duas situações de ensino da disciplina "Ciências do Ambiente". Na situação 1, o docente A apresentou os conteúdos previstos na ementa por meio de slides, motivou a participação dos alunos e promoveu atividades extraclasse. Durante o semestre, foi possível perceber que o docente incorporou a abordagem do PCV em diversas aulas, ampliando a aplicação para além de um tópico isolado. De forma mais específica, a implementação do PCV nas aulas da situação 1 ocorreu da seguinte forma:

- Ciclos Biogeoquímicos: foi realizada uma atividade extraclasse para discutir como o estilo de vida e a atuação como engenheiro podem influenciar nos ciclos da natureza, incluindo os ciclos hidrológico, de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre.
- Pegada ecológica: os alunos foram instigados a calcular a sua pegada ecológica em três sites distintos, além de descreverem as diferenças metodológicas de cada site e identificar qual é o mais confiável. Também, foram convidados a identificar atividades que, como futuro engenheiros, possam aumentar ou atenuar a pegada ecológica.
- Fontes de energia: os alunos realizaram seminários sobre os diferentes tipos de fontes de energia, abordando também os impactos ambientais, sociais e econômicos de cada um deles.
- Avaliação de Impacto Ambiental e Avalição do Ciclo de Vida: foram realizados seminários para a discutir artigos científicos que tratavam sobre os impactos ambientais mensurados pela ferramenta ACV.
- Pensamento do Ciclo de Vida: foi promovida palestra sobre o tema, com a exibição de vídeos sobre o ciclo de vida de produtos, como “O ciclo de vida de uma camiseta” e “A história dos eletrônicos”. Também, foi realizada uma atividade para descrever o ciclo de vida de um produto, identificando os possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos ao longo do ciclo de vida e no uso final do produto, além de propor soluções para a mitigar os impactos negativos.

As atividades realizadas na situação 1 demonstram um esforço do docente para promover o desenvolvimento do senso crítico dos alunos, incentivando-os a refletir sobre o impacto de seus estilos de vida e futuras práticas profissionais no uso dos recursos naturais. O

envolvimento dos alunos em atividades práticas como essas tem o potencial de prepará-los para enfrentar os desafios contemporâneos como futuros engenheiros.

No entanto, é importante reconhecer que a sensibilização por si só pode não ser suficiente para efetuar mudanças significativas. Embora os alunos possam identificar oportunidades de intervenção para reduzir impactos negativos e aumentar a eficiência no uso de recursos através do PCV, é fundamental garantir que essas oportunidades sejam seguidas por ações concretas. Além disso, é necessário um esforço contínuo para integrar essa abordagem em todas as disciplinas e práticas profissionais, não apenas nas aulas de Ciências do Ambiente. Isso requer um compromisso institucional e mudança de paradigma em relação à educação e prática profissional (Termaat, 2023; Wang *et al.*, 2020).

Na situação 2, os conteúdos foram abordados utilizando o método de sala de aula invertida, em que o aluno estuda os conteúdos antes das aulas, em seguida, juntos à turma, discutem os conhecimentos adquiridos e tiram dúvidas com ajuda e orientação do professor.

Em relação à implementação da abordagem do PCV, observou-se que foi realizada de isolada em um momento na disciplina, apenas no tópico sobre Pensamento do Ciclo de Vida. A abordagem foi semelhante à situação 1, com palestra, vídeos e resolução de atividades. Essa semelhança ocorreu devido ao fato de o tema ter sido abordado por um professor convidado que desenvolve trabalhos com essa abordagem.

Observa-se que o docente A conseguiu implementar a abordagem do PCV em mais conteúdo do que o docente B. Isso pode ser explicado pelo fato de que o docente A atua em pesquisas na área de gestão ambiental em processos, produtos e serviços, incluindo a ACV, ecoeficiência e *ecodesign*, bem como em técnicas de avaliação de impacto ambiental. Entretanto, é louvável observar o esforço dos professores em introduzir essa abordagem em suas disciplinas.

A variação na abordagem do PCV na disciplina de Ciências do Ambiente, conforme observado entre os dois docentes, destaca a importância de orientações claras e apoio institucional para promover a incorporação dessa abordagem de maneira mais abrangente em suas práticas de ensino, além de investimentos em desenvolvimento profissional contínuo e recursos adequados para capacitar os professores.

Em salas de aula heterogêneas, com estudantes de diferentes formações e experiências, é essencial adaptar o ensino desde os conceitos básicos até a aplicação prática das ferramentas de gestão do ciclo de vida (Olsen *et al*., 2018). Essa abordagem graduada permite que os alunos desenvolvam uma compreensão dos princípios do PCV e, gradualmente, adquiram as habilidades necessárias para sua aplicação efetiva na prática profissional.

De acordo com Rampasso *et al*. (2019), há poucos trabalhos que abordam experiências didáticas e resultados empíricos relacionados à integração dos conceitos de desenvolvimento sustentável nos cursos de Engenharia. Essa pesquisa contribui para preencher essa lacuna, fornecendo um arcabouço teórico e ferramentas para auxiliar as instituições de ensino na implementação do PCV nos currículos de Engenharia e fornecer suporte pedagógico aos docentes.

7 PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA NA EDUCAÇÃO FORMAL: DESAFIOS E ESTRATÉGIAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO

Inserir a abordagem do PCV na educação formal tem um importante potencial didático, pois promove o desenvolvimento de habilidades que auxiliam na resolução de problemas complexos, estimula a criatividade dos alunos e encoraja uma análise mais aprofundada e reflexiva dos conteúdos estudados.

Ao fornecer uma avaliação detalhada sobre o ciclo de vida de um produto, ou seja, analisando cada processo (Zhang *et al.*, 2021), os alunos podem entender melhor como as coisas funcionam e como as diferentes partes se inter-relacionam, facilitando a identificação de problemas e estimulando o desenvolvimento de soluções, auxiliando a se tornarem pensadores mais críticos e solucionadores de problemas (Cosme *et al*., 2019).

Quando são propostas atividades que conectam o aprendizado com o mundo real, os alunos podem perceber a aplicabilidade dos conceitos estudados em suas vidas, podendo aumentar a motivação e o interesse pelo aprendizado (Ortegon, 2019).

7.1 Desafios para a implementação do PCV

7.1.1 Desafios curriculares

A integração eficaz de diferentes áreas do conhecimento pode ser complexa, exigindo dos professores um domínio das disciplinas envolvidas e a capacidade de criar conexões significativas entre elas. Também é necessário que os professores adotem uma atitude de mente aberta aliada a reflexão crítica, especialmente considerando que muitos possuem formação disciplinar única (Wang, 2024).

Pesquisas demonstram que essa integração é mais eficaz quando os currículos são estruturados de forma a explorar e construir sinergias entre as disciplinas (Nathan *et al.*, 2017; Cassidy; Puttick, 2022). Além disso, a colaboração estreita entre professores de diferentes áreas é fundamental para o sucesso dessa abordagem interdisciplinar nos currículos (Wang, 2024).

Tolppanen *et al.* (2019) ilustram essa complexidade em um projeto de educação científica que abordou questões sociais e ambientais, incentivando os alunos a interagirem com profissionais para compreender os impactos ambientais ao longo de cada fase do ciclo de vida de um produto e quais profissionais estavam envolvidos em cada fase de produção. Esse tipo de abordagem demanda uma formação interdisciplinar que pode ser difícil de implementar sem o devido suporte e formação docente.

Além disso, adaptar o currículo para incorporar novas metodologias e conteúdo pode ser desafiador, exigindo tempo, recursos e flexibilidade por parte das instituições de ensino (Wang, 2024). Essa adaptação pode envolver a revisão de planos de aula, a criação de novos materiais didáticos e a formação contínua dos professores, pois à medida que os currículos mudam, desafios para os professores aumentam.

Olsen *et al.* (2018) destacam que as adaptações curriculares devem ser graduais e progressivas, fornecendo aos alunos diferentes níveis de competências ao longo da formação acadêmica. Conforme os alunos avançam do nível de graduação ao doutorado, espera-se que enfrentem abordagens cada vez mais complexas, permitindo o desenvolvimento de competências mais avançadas.

No entanto, a implementação dessa progressão pode ser problemática, pois exige a coordenação eficaz dos objetivos, a concepção do conteúdo, os métodos de ensino e as estratégias de avaliação para a aprendizagem interdisciplinar (Chang; Lin, 2019). Outro ponto importante refere-se ao mecanismo de avaliação, pois avaliar o aprendizado de forma abrangente e holística em um contexto interdisciplinar pode ser complexo. A avaliação tradicional, geralmente focada em disciplinas isoladas, muitas vezes não captura a complexidade e a profundidade do aprendizado interdisciplinar. Para Ivanitskaya *et al.,* (2002) o desenvolvimento cognitivo e a maturação intelectual são entre os resultados mais importantes dos programas interdisciplinares.

Portanto, são necessárias novas ferramentas e metodologias de avaliação que possam refletir a natureza integrada dos conhecimentos e habilidades desenvolvidas. Isso pode incluir o uso de projetos integradores (Ginzburg *et al*., 2019), estudos de caso (Berasategi *et al.*, 2020) e avaliações baseadas em competências (Wang; Song, 2021) que exigem dos alunos a aplicação de conhecimentos de várias disciplinas para resolver problemas reais.

Além disso, a adoção de práticas interdisciplinares requer recursos financeiros e materiais adicionais, necessários para estimular os professores que queiram adotar novas abordagens, recursos que nem sempre estão disponíveis nas instituições de ensino (Tonnetti; Lentillon-Kaestner, 2023). Instituições de ensino com recursos limitados podem se encontrar em desvantagem na adoção de abordagens inovadoras, exacerbando as disparidades educacionais existentes.

7.1.2 Desafios pedagógicos

Os professores podem precisar de formação continuada para desenvolver as habilidades necessárias para trabalhar com diversos conteúdos de forma integrada, como planejamento interdisciplinar (Silva *et al.,* 2020), uso de metodologias ativas (Haatainen; Aksela, 2021) e avaliação holística (Belbase *et al*., 2022).

Campbell e Henning (2010) revelaram que professores que passaram por formação inicial de forma integrada, caracterizada pelo trabalhando colaborativo, conseguiram desenvolver, avaliar e refletir melhor sobre conteúdos interdisciplinares. Esses achados confirmam a importância da formação docente colaborativa para superar desafios associados ao ensino interdisciplinar.

Dessa forma, embora algumas mudanças curriculares tenham sido implementadas, mesmo em documentos recentemente reformados, observa-se que essas reformas se concentraram na organização dos conhecimentos em núcleos específicos e na inclusão de disciplinas multidisciplinares (Azevedo; Azevedo, 2023). No entanto, não houve foco significativo na promoção de uma formação inicial e continuada que incentivasse a troca entre diferentes especialistas no ensino e na pesquisa, e núcleos associados (Azevedo; Azevedo, 2023).

Além disso, a implementação de novas metodologias pode aumentar a carga de trabalho dos professores, exigindo mais tempo para planejamento, preparação de aulas e avaliação. Por isso, as instituições de ensino precisam oferecer suporte adequado aos professores, incluindo formação continuada, recursos didáticos, tempo para planejamento e infraestrutura adequada para o desenvolvimento de práticas interdisciplinares (Termaat, 2023; Wang *et al*., 2020).

Hobold (2018) enfatiza a intencionalidade de trabalhar as questões de formação continuada nos processos ofertados internamente nas instituições de ensino, mesmo sabendo da dificuldade para mudar as crenças dos professores. Entretanto, a necessidade de incentivos institucionais e a falta de um consenso sobre as melhores práticas para a formação docente em conteúdos diversos podem dificultar a implementação de mudanças curriculares e pedagógicas (Beemt *et al.,* 2020). Essa falta de alinhamento e apoio têm o potencial de minar os esforços para introduzir inovações educacionais.

7.1.3 Desafios relativos aos alunos

Alunos com diferentes estilos de aprendizagem podem ter dificuldades para se adaptar a metodologias interdisciplinares, exigindo diferenciação pedagógica e acompanhamento individualizado por parte dos professores. Além disso, os professores têm dificuldades para

concretizar prioridades educativas que apoiem a aprendizagem de todos os alunos pois, em sua maioria, possuem experiência de uma carga de trabalho pesada e de uma intensificação do trabalho (Creagh *et al*., 2023).

Manter os alunos motivados em um ambiente de aprendizagem interdisciplinar pode ser desafiador, exigindo dos professores estratégias criativas e envolventes para despertar o interesse dos alunos. Entretanto, há cada vez mais experiências em que metodologias inovadoras são implementadas em uma perspectiva interdisciplinar (Adiego; Martín-Cruz, 2021; Berasategi *et al*., 2020).

A parceria com outras partes interessadas também influencia positivamente na motivação dos alunos. Por exemplo, Cosme *et al*. (2019) utilizaram estudos de casos reais de indústrias para que os alunos avaliassem utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Os alunos foram desafiados a realizar todas as etapas metodológicas da ACV, chegando a conclusões importantes que forneceram dados confiáveis aos tomadores de decisão das indústrias.

Essa parceria foi sinérgica para ambos: além do aprendizado prático e aplicado para os alunos, a indústria se beneficiou com a resolução dos casos, recebendo soluções relevantes e aplicáveis. Algumas indústrias chegaram a contratar alunos após a conclusão do curso, destacando o valor dessa colaboração (Cosme *et al*., 2019).

As habilidades prévias dos alunos em diferentes áreas do conhecimento podem variar, o que pode exigir dos professores ajustes no ritmo e na dificuldade das atividades propostas. Uma solução seria a inclusão de atividades interativas, como a aprendizagem baseada em problemas, nas quais os alunos trabalhariam em grupo com pessoas de diferentes formações e perspectivas (Gantogtokh; Quinlan, 2017), auxiliando no desenvolvimento de habilidades entre os estudantes como pensamento crítico, cooperação e trabalho em equipe (Berasategi *et al.*, 2020).

7.2 Estratégias para subsidiar à implementação do PCV

Para garantir a implementação da abordagem do PCV, é fundamental um compromisso institucional abrangente. Conforme destacado por Casarejos, Frota e Gustavson (2017), essa abordagem deve estar alinhada com a missão e os valores das instituições de ensino, integrando-se às suas atividades cotidianas. Além disso, é fundamental oferecer formação continuada aos professores, capacitando-os a desenvolver as habilidades necessárias para integrar o tema nas disciplinas que ministram (Winter; Zhai; Cotton, 2022).

Entretanto, não basta conhecer o PCV, suas potencialidades didáticas, seus limites de implementação atual e imaginar soluções. É necessário criar uma estrutura de implementação que oriente o percurso, desde as instituições de ensino, até os professores e alunos.

Portanto, o modelo de integração curricular desenvolvido tem como objetivo estruturar as etapas necessárias para guiar a implementação do PCV, fornecendo orientações tanto conceituais quanto práticas. Isso visa contribuir para a formação dos professores, capacitando-os a adotar a abordagem em sua prática docente e, posteriormente, transmiti-la aos alunos. Assim, foi organizado em duas etapas principais: a trajetória de apropriação docente e a trajetória de apropriação discente (Tabela 6).

Tabela 6. Modelo de integração curricular para implementação do Pensamento do Ciclo de Vida

Etapas	**Propósito**	**Algumas estratégias formais de aprendizagem**	**Outras estratégias de aprendizagem**
Trajetória de apropriação docente	Exposição inicial e capacitação: promover o entendimento sobre o PCV	Palestras e cursos promovidos pelas instituições de ensino com convidados especialistas	Leitura livre de materiais relacionados ao PCV, *networking* com outros profissionais, exploração de recursos on-line (podcasts, vídeos, artigos) relacionados ao tema, participação em webinars, conferências e congressos sobre o PCV. Participação em grupos de discussão, reflexão pessoal sobre a aplicação do PCV na prática profissional.
	Formação docente: fornecer recursos para aprofundamento do conhecimento sobre o PCV	Leituras sugeridas e curso introdutório sobre o PCV.	
	Compreensão docente: facilitar a compreensão aprofundada do PCV.	Atividades interativas e grupos de discussão e reflexão sobre a aplicação pedagógica do PCV	
Trajetória de apropriação discente	Aplicação e desenvolvimento de habilidades: proporcionar aos estudantes oportunidades para aplicar conceitos e habilidades do PCV.	Atividades práticas utilizando ferramentas específicas com a abordagem do PCV	Estágios práticos, participação em eventos relacionados ao PCV. Participação em workshops ou oficinas práticas sobre o PCV. Reflexão pessoal sobre a aplicação do PCV em situações do cotidiano e em projetos escolares ou acadêmicos.

Fonte: Elaborado pelas autoras

7.2.1 Trajetória de apropriação docente

A trajetória de apropriação docente constitui a primeira etapa da estratégia de implementação do PCV no ensino e é dividida em três etapas distintas. A primeira refere-se à exposição inicial e capacitação, na qual a instituição de ensino pode desempenhar um papel fundamental, fornecendo orientações e direcionamentos aos docentes para adquirirem domínio sobre o tema, sendo responsáveis por estruturar e coordenar as atividades formativas.

Por exemplo, a Pró-Reitoria de Ensino de Graduação (PREG), pode ser designada para liderar essa etapa, atuando como principal responsável por coordenar e implementar a formação continuada, isso inclui a definição de diretrizes e a elaboração de um plano estratégico. A PREG pode organizar palestras, *workshops* e ciclos de conferências, convidando especialistas[23] na área. Esses eventos podem ser realizados tanto presencialmente quanto online, para alcançar um público mais amplo e permitir a participação de docentes de diferentes campi.

Outra função essencial da PREG é estabelecer parcerias com outras universidades e centros de pesquisa que já possuem expertise no tema, potencializando a troca de conhecimento e práticas pedagógicas. Essas parcerias podem incluir acordos para o desenvolvimento conjunto de materiais didáticos, a realização de eventos formativos e a troca de experiências entre docentes.

A segunda etapa refere-se à formação docente, na qual os próprios docentes também podem realizar leituras sobre o tema (sugere-se o manual didático sobre PCV, vide Apêndice D) e participar do curso introdutório sobre Pensamento do Ciclo de Vida (ver detalhes em Quadro 15). É importante ressaltar que os docentes devem demonstrar interesse contínuo em se atualizar em suas carreiras e explorarem diversas fontes de informação.

A terceira etapa envolve a construção da compreensão docente, na qual os professores devem estar ativamente envolvidos para desenvolverem um modelo mental sobre a abordagem do PCV. De acordo com a Taxonomia de Bloom, a categoria “compreender” refere-se à habilidade de demonstrar entendimento da informação, sendo capaz de reproduzi-la por palavras próprias ou ideias (Bloom *et al*., 1956). Estratégias para essa etapa podem incluir grupos de discussão, elaboração de resumos, criação de mapas mentais, entre outras.

---

[23] Ex.: Ugaya, C.M.L (http://lattes.cnpq.br/2271044514284983);
Rodrigues, L.B. (http://lattes.cnpq.br/6141224143641663);
Silva, E.A. (http://lattes.cnpq.br/4203998034603560);
Almeida-Neto, J.A. (http://lattes.cnpq.br/2935389347278930);
Carmo, B.B.T. (http://lattes.cnpq.br/0225051232865377).
Monteiro, N.B.R. (http://lattes.cnpq.br/7843545732312527)

Espera-se que, ao final desta etapa, os docentes estejam preparados e tenham compreendido o tema, podendo aplicá-lo em suas práticas pedagógicas, como nas aulas ou nos projetos escolares. As informações adquiridas na primeira etapa servem para desenvolver uma compreensão mais aprofundada sobre o tema específico, aumentando assim a habilidade de implementação da abordagem.

Ademais, outras estratégias também são importantes para a compreensão do tema. Entre elas, destaca-se a leitura livre de materiais relacionados ao PCV, proporcionando aos educadores a oportunidade de explorar diversas perspectivas e abordagens sobre o tema.

Quadro 15. Curso sobre o Pensamento do Ciclo de Vida promovido pela Iniciativa do Ciclo de Vida

Curso: Pensamento do Ciclo de Vida
Link de acesso: https://www.learnlifecycle.com/courses/lct Idiomas: Português, Francês, Espanhol, Inglês e Árabe Recursos: vídeos, materiais do curso para download, recursos adicionais (aprofundamento), questionários para avaliação, certificado de conclusão do curso.
Panorama geral
Bloco 1 – Introdução ao Pensamento do Ciclo de Vida: • Ideias sobre o que significa a abordagem do PCV; • Importância do PCV para os tomadores de decisão, setores público e privado para o desenvolvimento de políticas e de produtos, bem como para a aquisição e prestação de serviços; • Abordagens de Ciclo de Vida e impactos significativos: entendendo ferramentas, critérios e aplicações.
Bloco 2 – Abordagem do Ciclo de Vida nas políticas públicas: • Formulação de políticas públicas sustentáveis; • Oportunidades estratégicas para ação política; • Usando e comunicando os resultados do PCV.
Bloco 3 – Abordagem do Ciclo de Vida nos negócios: • Vinculando a sustentabilidade ao valor: oportunidades e desafios para a criação de valor para o negócio; • Como fazer a sustentabilidade funcionar dentro das organizações; • Usando e comunicando os resultados do Pensamento do Ciclo de Vida (vantagem competitiva, imagem aprimorada e ganhos econômicos).
Bloco 4 – Estilo de vida sustentáveis (incorporação da sustentabilidade aos processos diários de tomada de decisões): • Uso do PCV para informar o consumidor; • Falando o mesmo idioma: rotulagem, declarações, certificações. • Decisões de consumo sustentável e estilos de vida (lacuna atitude-comportamento).

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Além disso, o *networking* com outros profissionais permite trocas de experiências e conhecimentos que enriquecem a compreensão do PCV. A exploração de recursos on-line, como *podcasts*[24], vídeos[25] e artigos, oferece acesso a conteúdo atualizados e variados, complementando o aprendizado de forma dinâmica e acessível.

7.2.2 Trajetória de apropriação discente

A trajetória de apropriação discente se refere à preparação dos estudantes facilitada pelo trabalho docente. Nessa etapa, são sugeridas aplicações práticas para subsidiar o trabalho docente, visando o desenvolvimento de habilidades nos estudantes alinhadas com a perspectiva do PCV. Entretanto, para que os estudantes adquiram essas habilidades, é importante que passem pelas etapas pelas quais os docentes passaram anteriormente. Nesse contexto, os docentes atuam como facilitadores de informações em direção a um objetivo específico, já possuindo domínio sobre o tema. Eles podem incluir mais ativamente a adoção de comportamentos e discutir os resultados das práticas.

A formação de professores e o seu desenvolvimento profissional em questões de sustentabilidade é essencial para garantir que possam atuar como modelos e facilitadores desses valores (Baena-Morales *et al*., 2023). Professores bem-preparados atuam como mediadores do conhecimento e inspiram atitudes e comportamentos responsáveis. Isso mostra a importância que os educadores desempenham na formação das percepções dos alunos e, portanto, influenciando decisões e comportamentos profissionais (Vladimirova; Le Blanc, 2016).

Nesta categoria, os alunos aplicam ou implementam uma habilidade, organizam e criticam informações (Bloom *et al*., 1956). A eficácia das estratégias inclui a proposição de aplicações práticas, concentrando os esforços no entendimento dos resultados e na aproximação com a realidade local dos alunos e da escola.

Exemplos de ferramentas específicas com a abordagem do PCV são os aplicativos Idemat e Sprecometro. Duas experiências foram executadas nesses aplicativos para demonstrar a usabilidade e aplicação da ferramenta.

---

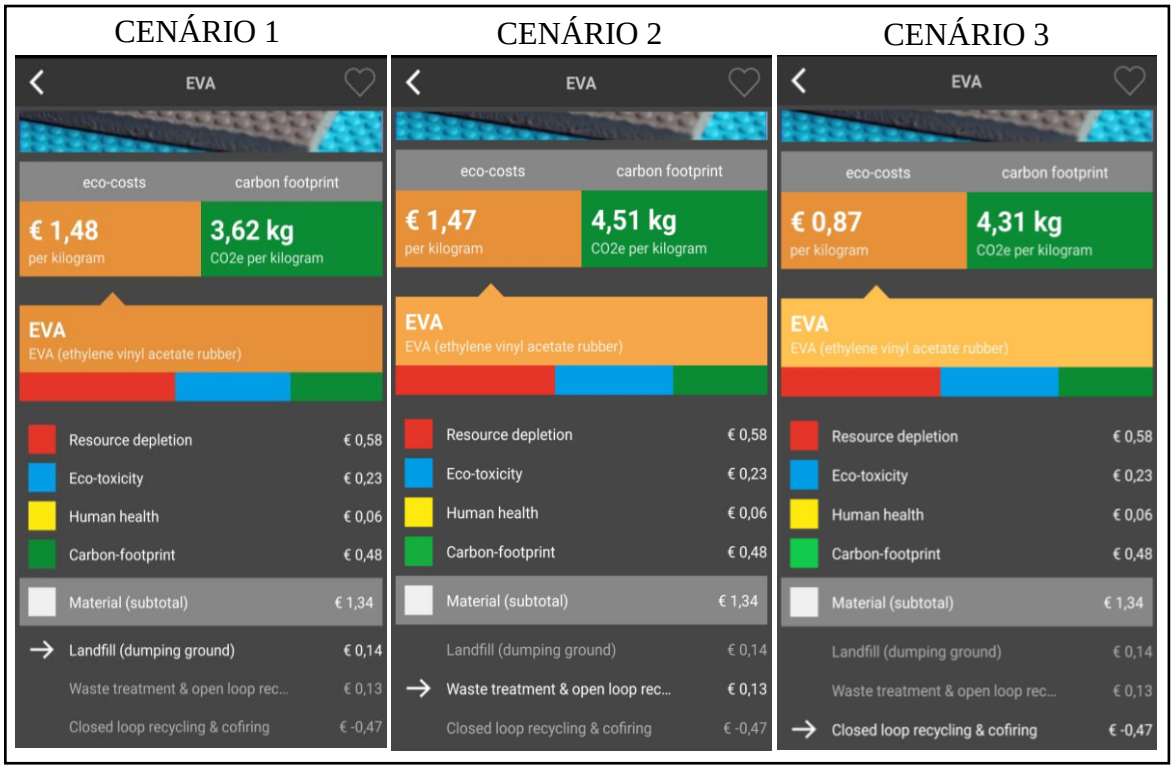
[24] Ex.: https://open.spotify.com/episode/4K9yZP9r4AMRRRJPe1ZxUL?si=fONR6O2OSQ-Dzx-dmBaIRQ
https://open.spotify.com/episode/3Mj7Y1gH5cRr4v1OBlRoow?si=NWo_hmH4QmqXSIt1Rz2tng
https://open.spotify.com/episode/17z3MEYqdvx6pefA44ouLZ?si=2rjTXzvnRfe44M1m0q4Jtg
https://open.spotify.com/episode/250Qz02lzwZm5grhAVdD2g?si=sJ6rEUHnRfi3IU7gxEvrPA

[25] Ex.: https://www.youtube.com/watch?v=iBtPCwbahMI
https://www.youtube.com/watch?v=qWRr8BbHIoQ&list=PLKEKlV-eWhxlv4RwXvOL9Yb1fWejPIJRM&index=26

O aplicativo Idemat baseia-se na Avaliação do Ciclo de Vida de diferentes materiais e processos. As pontuações de impacto são expressas em custos ecológicos ou pegada de carbono. O processo de seleção baseado em pontuação inclui três cenários de fim de vida: aterro ou lixão: produção (do berço ao portão); tratamento de resíduos (circuito aberto): produção a crédito de reciclagem; e economia circular (circuito fechado): produção a crédito de reciclagem. São analisados os seguintes aspectos: esgotamento de recursos, ecotoxicidade, saúde humana e pegada de carbono.

Ao abrir o aplicativo, o usuário deve seguir dois passos principais: escolher o cenário de fim de vida e selecionar o material ou processo que deseja avaliar. Como exemplo para análise dos resultados, foi escolhido o material EVA (*ethylene vinyl acetate rubber*).

Figura 1. Capturas de tela do aplicativo Idemat



Pode-se perceber a diferença entre o cenário 1 e 2 para o cenário em relação aos custos ecológicos, pois não se tem custos associados quando o material vai para o aterro (0,14 euros) ou reciclagem em sistema aberto (0,13). Porém, quando EVA é destinado para a reciclagem em sistema fechado apresenta uma economia de €0,47. Isso sugere que, a longo prazo, a reciclagem em sistema fechado pode ser vantajosa economicamente devido à reutilização do material em novos produtos.

Entretanto, a análise da pegada de carbono revela uma faceta diferente. Observa-se que o cenário 1 tem a menor pegada de carbono, com 3,62 CO2e/kg, enquanto os cenários 2 e 3 têm pegadas de carbono mais altas, com 4,51 CO2e/kg e 4,31 CO2e/kg, respectivamente. Esta diferença pode ser atribuída principalmente aos processos envolvidos na reciclagem e ao transporte. A reciclagem em sistemas abertos ou fechados pode exigir mais energia e recursos, resultando em emissões de carbono mais altas durante o processo.

Essa análise evidencia um dilema comum enfrentado em questões de sustentabilidade: a interconexão entre aspectos econômicos e ambientais. Enquanto a reciclagem em sistema fechado pode ser economicamente vantajosa, suas pegadas de carbono mais altas destacam a importância de uma abordagem fundamentada e ponderada na tomada de decisões, buscando soluções que otimizem ambos os aspectos.

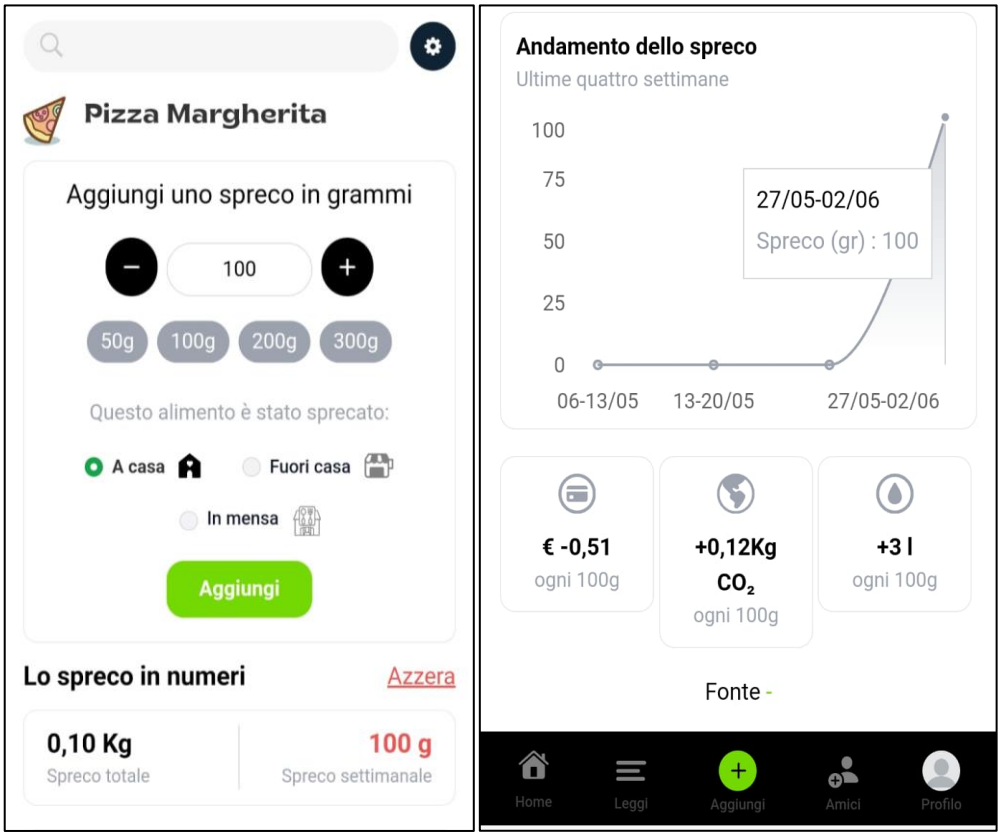
O aplicativo Sprecometro tem como objetivo gerar conscientização e conhecimento útil para orientar as escolhas individuais em relação ao uso sustentável dos recursos naturais, à redução e prevenção do desperdício alimentar doméstico e fora de casa (restaurantes, bares, cantinas, entre outros), e à adoção de dietas saudáveis e sustentáveis.

O Sprecometro oferece funcionalidades como a medição do desperdício alimentar, permitindo que usuários registrem o desperdício em gramas, individualmente ou em grupo, facilitando o acompanhamento do desperdício gerado. Ele também converte esse desperdício em valores monetários, mostrando o impacto econômico em euros.

O aplicativo calcula a pegada de carbono associada ao desperdício alimentar, convertendo as emissões de CO_2 em uma métrica familiar como quilômetros percorridos por um automóvel, ajudando os usuários a entenderem melhor o impacto ambiental. Além disso, mede a pegada hídrica do desperdício, mostrando o volume de água utilizado na produção dos alimentos desperdiçados, traduzido em garrafas de água de 0,5 litros.

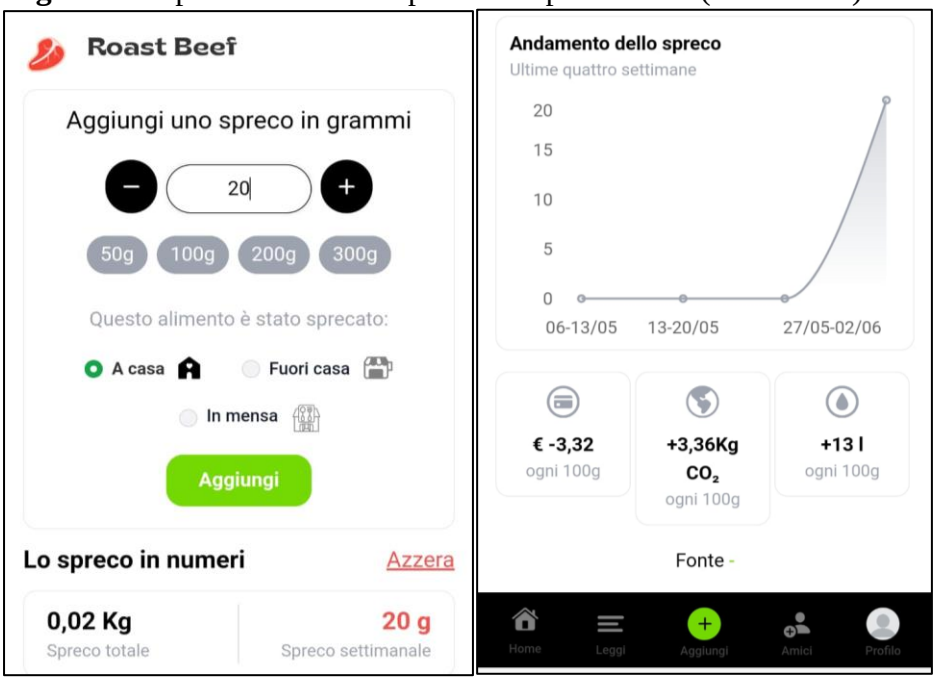
Ao abrir o aplicativo, o usuário deve adicionar o seu desperdício selecionando os alimentos e as respectivas quantidades em gramas. Por exemplo, ao registrar o desperdício de 100g de pizza marguerita em casa, o aplicativo indica uma perda econômica de 0,51 euros, uma emissão de 0,12 Kg de CO_2 e uma pegada hídrica de 3 litros.

Figura 2. Capturas de tela do aplicativo Sprecometro (*Pizza Margherita*)



Comparando-se com o desperdício de apenas 20g de carne assada em casa, pode-se perceber que os impactos negativos são significativamente maiores. Esse desperdício gera um impacto econômico de 3,32 euros, uma emissão de 3,36 Kg de CO_2 e uma pegada hídrica de 13 litros.

Figura 3. Capturas de tela do aplicativo Sprecometro (Roast Beef)



Essa comparação destaca como alimentos de origem animal, especialmente carne, têm impactos ambientais significativamente maiores (Zucali *et al*., 2016). Além disso, de acordo com Tacaks *et al*. (2023), substituir ingredientes de origem animal é mais eficaz para reduzir esses impactos do que simplesmente adquirir ingredientes localmente.

Além disso, é essencial promover uma reflexão sobre hábitos de consumo pessoal e coletivo, incentivando a adoção de uma dieta mais sustentável e consciente, que considere tanto os impactos econômicos quanto os ambientais. Somente assim poderemos formar indivíduos verdadeiramente comprometidos com a sustentabilidade e preparados para enfrentar os desafios contemporâneos de forma ética e responsável.

Outras estratégias de aprendizagem também auxiliam os estudantes a compreenderem melhor o tema. Os estágios práticos representam uma oportunidade para os estudantes aplicarem os conceitos do PCV em ambientes reais, como empresas ou organizações. Durante esses estágios, os estudantes têm a chance de vivenciar em primeira mão como o PCV é implementado e como afeta as decisões e práticas em diferentes áreas.

A participação em eventos relacionados ao PCV, como conferências, seminários ou *workshops*, oferece aos estudantes a oportunidade de se manterem atualizados sobre as tendências e pesquisas mais recentes nesta área. Além disso, esses eventos proporcionam um espaço para *networking*, permitindo que os estudantes conheçam profissionais e pesquisadores atuantes no campo do PCV.

Os *workshops* ou oficinas práticas dedicados ao PCV são outra maneira eficaz de envolver os estudantes e promover a aplicação prática dos conceitos aprendidos em sala de aula. Essas atividades práticas podem incluir exercícios de modelagem, estudos de caso e simulações que ajudam os estudantes a entenderem como o PCV pode ser aplicado em diferentes contextos e setores.

Por fim, a reflexão pessoal é fundamental para que os estudantes internalizem e consolidem seu entendimento sobre o PCV. Ao refletir sobre como o PCV se aplica em situações do cotidiano e em projetos escolares ou acadêmicos, os estudantes desenvolvem uma compreensão mais profunda dos conceitos e aprendem a avaliar criticamente os impactos das decisões em termos de sustentabilidade e ciclo de vida. Essa reflexão pessoal também os capacita a se tornarem agentes de mudança conscientes em suas futuras carreiras e práticas profissionais.

8 INSPIRAÇÕES PARA A SALA DE AULA: EXPLORANDO O PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA NA ENGENHARIA

Após o entendimento dos desafios de implementação do PCV nos currículos e fornecer subsídios teóricos e práticos para instituições e professor nessa tarefa nos cursos de graduação, destaca-se a necessidade de disponibilizar ideias de aulas, como ideias para auxiliar os docentes na implementação da abordagem do PCV em suas aulas e/ou projetos. Dessa forma, os docentes, atuando como facilitadores dessa integração, podem promover uma compreensão da interdependência entre as dimensões sociais, ambientais e econômicas.

A proposta consiste em fornecer sugestões de aulas baseadas nos conteúdos previstos nas ementas das disciplinas dos cursos de engenharia analisados, com o objetivo de proporcionar aos professores uma compreensão mais clara de como essas implementações podem ser realizadas. Além disso, evidencia-se que pode ser feito sem introduzir abordagens muito desconexas do conteúdo programático previsto, garantindo assim a profundidade e solidez do que é ensinado, e sem incluir temas novos em currículos que possuem uma carga horária expandida.

Nesse contexto, a educação para o desenvolvimento sustentável requer um estilo diferente de ensino, afastando-se do modelo tradicional e baseando-se em métodos mais interativos e participativos para que os estudantes desenvolvam autonomia em seu processo de aprendizagem (Takala; Korhonen-Yrjänheikki, 2013). Nesse sentido, os métodos de ensino utilizados devem adaptados para atender essa demanda.

Uma proposta para integrar elementos do desenvolvimento sustentável na disciplina de Álgebra Linear é promover a reflexão sobre os desafios globais da sustentabilidade e as implicações sociais e ambientais da engenharia. Isso pode ser realizado através da metodologia de aprendizagem baseada em projetos, utilizando um exemplo prático como a avaliação da viabilidade de uma barragem em termos de eficácia a longo prazo. Os objetivos incluem analisar a viabilidade da estratégia de irrigação, considerando a evolução temporal do balanço hídrico do reservatório, examinar as possíveis influências das mudanças climáticas e avaliar os benefícios sociais da barragem (Pérez-Foguet; Lazzarini, 2019).

Essa abordagem permite que os estudantes desenvolvam competências e habilidades relacionadas ao PCV e à sustentabilidade, compreendendo os desafios e oportunidades que as temáticas podem elucidar, tornando-os mais preparados para atuarem em um mundo em constante transformação.

Seguindo essa linha de raciocínio, todas as atividades propostas para as disciplinas dos cursos de engenharia foram desenvolvidas com base em metodologias ativas, a fim de auxiliar na implementação da abordagem do PCV. Essas metodologias contribuem para desenvolvimento de habilidades e competências necessárias para aplicação prática dos conhecimentos adquiridos (Montés *et al.*, 2022). Além disso, Duarte *et al.* (2023) citam que as práticas pedagógicas específicas para o ensino da sustentabilidade incluem estudos transdisciplinares, resolução de problemas, estudos de casos e práticas experimentais.

Cada tema de aula é acompanhado de uma descrição detalhada da metodologia utilizada, bem como dos objetivos de aprendizagem categorizados de acordo com a Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl (2002). Além disso, cada tema proposto e sua respectiva metodologia foram desenvolvidos para estimular o pensamento crítico do aluno, refletindo à luz da sustentabilidade. Essa abordagem, inspirada em Libâneo (1990), não se limita ao conteúdo, mas também valoriza o desenvolvimento de habilidades e capacidades dos estudantes.

Essas propostas podem ser utilizadas em diferentes cursos de Engenharia de Materiais, Engenharia de Produção e Engenharia Cartográfica e de Agrimensura do Brasil e do exterior, com intuito de fornecer aos professores de Engenharia uma base para a implementação do PCV em suas aulas, permitindo que sejam adaptadas conforme as necessidades e objetivos específicos de ensino.

Para as disciplinas de Materiais Poliméricos, Ciência dos Materiais I e II, e Processamento dos Materiais Poliméricos do curso de Engenharia de Materiais e para a disciplina de Engenharia e Ciência dos Materiais Poliméricos do curso de Engenharia de Produção, se propõe abordar o ciclo de vida de diferentes tipos de materiais, como termoplásticos (ex.: garrafas PET, sacolas e embalagens plásticas, *compact disc* - CDs), termorrígidos (ex.: piscinas de fibra, painéis elétricos) e elastômeros (ex.: trajes de mergulho, pneus, luvas) (Apêndice E).

Como atividade, sugere-se escolher um produto feito de material polimérico e elaborar um infográfico sobre o ciclo de vida do produto escolhido, utilizando a abordagem “do berço ao túmulo”, incluindo a extração de matérias-primas, a produção, a distribuição, o uso e o descarte/reuso/reciclagem.

O objetivo da atividade é identificar os impactos ambientais, sociais e econômicos potenciais relacionados a cada etapa do ciclo de vida do produto e apresentar as possíveis soluções que um Engenheiro de Materiais pode sugerir para minimizar os impactos identificados.

As soluções sugeridas podem ser baseadas nos 12 princípios da Engenharia Verde propostos por Anastas e Zimmerman (2003). Algumas dessas soluções incluem a otimização do processo produtivo para reduzir o consumo de energia e a emissão de poluentes, a criação de uma logística reversa para recolher e reciclar os produtos após o uso e a incorporação de *design* sustentável no desenvolvimento de produtos, entre outros. A proposta está descrita mais detalhadamente no Apêndice E.

Na disciplina de Ergonomia, comum aos cursos de Engenharia de Materiais e Produção, os alunos devem ser orientados a escolher um produto e projetá-lo de forma ergonomicamente adequada, baseado na seguinte pergunta: "De que forma um determinado produto de trabalho poderia ser projetado ergonomicamente, permitindo economia de recursos, aumento de produtividade e menor desgaste físico e mental dos trabalhadores?" (Apêndice F)

Em seguida, os alunos devem divulgar os resultados da pesquisa por meio da elaboração de um panfleto de vendas desse produto, em que os benefícios ergonômicos para a empresa e para os trabalhadores sejam destacados. Essa atividade visa incentivar a reflexão crítica e inovadora dos alunos, identificando soluções ergonômicas que possam melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores, aumentar a eficiência do processo produtivo e reduzir os custos associados à produção e manutenção.

Naeini *et al.* (2018) enfatizam a necessidade de desenvolver uma abordagem de custo-benefício na concepção de produtos ergonômicos. Essa abordagem pode tornar a ergonomia uma ferramenta estratégica para alcançar o sucesso econômico e social das empresas, ao considerar não apenas o bem-estar dos trabalhadores, mas também a produtividade e a economia de recursos.

Para a disciplina de Gestão da Qualidade, comum aos cursos de Engenharia de Materiais e Produção, é proposto que a turma poderia seja dividida em grupos de até cinco pessoas para realizar uma pesquisa virtual em sites de empresas que adotam o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) baseado na norma ISO 9001:2015, tais como o Grupo Boticário[26], Suzano[27], Klabin[28] e Raízen[29] (Apêndice G). O objetivo da pesquisa é a identificação de como a empresa implementa o SGQ baseada nos sete princípios: foco no cliente, liderança, engajamento das pessoas, abordagem por processos, melhoria, tomada de decisões baseada em evidências e gestão de relacionamento (ABNT, 2015).

[26] https://www.grupoboticario.com.br/
[27] https://www.suzano.com.br/
[28] https://www.klabin.com.br/
[29] https://www.raizen.com.br/

Além disso, é fundamental que os alunos adotem uma perspectiva crítica e sistêmica, avaliando como o Engenheiro de Materiais/Produção pode contribuir para melhorar gestão da qualidade nessas empresas. Essa abordagem pode incluir a análise dos materiais utilizados nos produtos e processos produtivos, a fim de garantir que os produtos atendam às especificações de qualidade e segurança exigidas.

O docente também pode incentivar os alunos a realizarem uma análise comparativa entre as empresas pesquisadas, identificando semelhanças, diferenças e possíveis pontos fortes e fracos em relação à gestão da qualidade e ao papel do engenheiro. Essa análise crítica ajudará os alunos a desenvolverem uma perspectiva sistêmica, entendendo como diferentes abordagens podem impactar a qualidade dos produtos.

A implementação da norma ISO 9001 em pequenas e médias empresas tende a melhorar a qualidade dos produtos, aumentar a produtividade e a satisfação dos clientes (Magodi; Daniyan; Mpofu, 2022). A partir da proposta, os engenheiros têm potencial de contribuir de forma técnica e desempenhar um papel estratégico nesse contexto.

Na disciplina de Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho, comum aos cursos de Engenharia de Materiais e de Produção, e para a disciplina similar, Higiene e Segurança do Trabalho do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, são sugeridas duas atividades práticas que demandam visitas às indústrias/empresas (Apêndices H e I).

A primeira atividade consiste na identificação de produtos químicos perigosos e na sugestão de possíveis substituições por alternativas melhores, com o objetivo de reduzir a exposição dos trabalhadores a essas substâncias perigosas e minimizar o impacto ambiental dos resíduos químicos gerados (Apêndice I). Também estudantes devem procurar a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) para conhecer especificações técnicas que auxiliem a identificação de opções de gerenciamento adequados desses materiais.

Além disso, propõe-se a identificação e anotação de todos os EPI utilizados nas indústrias/empresas visitadas. Após essa etapa, os estudantes devem buscar o Material *Safety Data Sheet* (MSDS) ou *Safety Data Sheet* (SDS) para verificarem se a proteção oferecida pelos equipamentos é condizente com a exposição ao risco (Apêndice I).

Em seguida, os estudantes devem realizar uma avaliação da eficácia dos equipamentos de proteção individual e/ou coletiva utilizados, identificando os pontos de melhoria e propondo alternativas mais seguras e sustentáveis. Para complementar a análise, podem entrevistar um(a) profissional responsável pela segurança do trabalho da indústria/empresa visitada.

Os estudantes devem considerar a segurança dos trabalhadores, a eficácia equipamentos de proteção individual e/ou coletivos, os custos envolvidos na produção e outros fatores

relevantes para a empresa e para o meio ambiente. Dessa forma, será possível propor soluções mais completas e adequadas para a situação.

O estudo de Ortegon (2019) demonstra o projeto desenvolvido por estudantes para redesenhar produtos do cotidiano, como uma raquete de tênis de mesa e um biodigestor de baixo custo para áreas rurais. Para isso, utilizaram processos com menor impacto ambiental e econômico.

Por exemplo, para a raquete, identificaram que a partir da análise da ACV, desenvolvida com o *software* Simapro, que o maior impacto ambiental acontece no processo de fabricação, especificamente em relação a energia necessária para a transformação da madeira. A raquete redesenhada usando impressão 3D e reutilizando cabos no final de vida reduziu a energia incorporada de 114 para 11,6 MJ e a pegada de carbono de 8 para 0,8 kg de CO_2 (Ortegon, 2019).

Para redução dos impactos econômicos utilizou-se borrachas recicladas de pneus, pois a partir da análise do Custeio do Ciclo de Vida, observou-se que o maior impacto estava no custo de manutenção (Ortegon, 2019).

Para a disciplina de Corrosão de Metais, sugere-se que a turma seja dividida em grupos para escolher materiais metálicos comumente usados em aplicações industriais. Eles devem pesquisar sobre os principais tipos de corrosão que podem ocorrer, bem como suas causas e efeitos, e as técnicas de proteção contra a corrosão (Apêndice J).

Em seguida, deverão realizar uma análise do ciclo de vida desses materiais, considerando o desempenho em relação à corrosão, bem como as questões ambientais, sociais e econômicas relacionadas, e organizar os dados na forma de relatório. Os resultados da pesquisa serão apresentados na forma de seminários para discussão em sala de aula com os colegas, a fim de se analisar criticamente os resultados encontrados.

Para complementar os resultados dos relatórios, sugere-se que os alunos identifiquem situações de corrosões que presenciaram no cotidiano, como a corrosão bimetálica ou corrosão galvânica, a corrosão por pites (alveolar), entre outras. Por exemplo, eletrodomésticos de vida mais longa como uma geladeira, apesar da pintura, podem estar sujeitos à corrosão pela agressividade do ambiente. A proteção metálica por pintura superficial pode ser identificada em carros. Os carros mais antigos que perderam a pintura por batida ficam expostos à corrosão. Destaca-se, ainda, que a escolha de materiais inadequados pode reduzir a vida útil de uma estrutura.

A importância de educar os futuros profissionais sobre a química da corrosão e as estratégias de prevenção é enfatizada por Furlan *et al.* (2023), que exploraram a natureza

eletroquímica da corrosão/ferrugem do ferro e algumas estratégias aplicáveis para desacelerar ou interromper esses processos, com experimentos simples feitos em laboratório a fim de simular situações da realidade.

Na disciplina de Termodinâmica dos Materiais, do curso de Engenharia de Materiais, pode-se selecionar um processo industrial relevante para a área de materiais, como a produção de aço, por exemplo. Em seguida, deve-se identificar os fluxos de energia e matéria envolvidos nesse processo, bem como os pontos de maior consumo de energia e matéria, a fim de avaliar a possibilidade de redução desses consumos (Apêndice K).

Um mesmo produto, por exemplo, uma latinha de refrigerante pode ser feita de aço ou de alumínio, ambas são recicláveis, porém, a lata de alumínio pode ser reprocessada em temperatura bem mais baixa que a lata de aço. Contudo, no PCV, deve ser examinado tudo, por exemplo, o gasto de energia que antecede a produção de ambas as latinhas.

A partir da análise termodinâmica realizada, pode-se identificar oportunidades de melhoria em relação ao uso de recursos naturais e redução de impactos ambientais. Além disso, é importante avaliar a viabilidade econômica das oportunidades de melhoria identificadas. Essa análise também pode fornecer informações para a seleção de materiais adequados e processos mais sustentáveis, contribuindo para a promoção da sustentabilidade na indústria (Ebrahimi; Koh, 2021).

Uma atividade que pode ser realizada na disciplina de Resistência e Reologia dos Materiais, do curso de Engenharia de Materiais, é a análise do impacto ambiental de diferentes materiais utilizados em produtos comuns do dia a dia, como embalagens de alimentos, sacolas plásticas, garrafas PET, entre outros. Os alunos podem ser divididos em grupos e cada grupo pode selecionar um produto para análise. Eles devem pesquisar e comparar as propriedades dos diferentes materiais utilizados na produção do produto selecionado, como resistência, flexibilidade, durabilidade e custo (Apêndice L).

A composição de uma pasta dental ou um produto achocolatado traz substâncias com funções específicas no desempenho final do produto. Conhecer a função e a relação entre componentes permite identificar oportunidades de trocas entre substâncias alterando a composição, mas mantendo o desempenho do produto. Isto é feito constantemente por razões econômicas, mas poderia ser feita por razões ambientais também. Um exemplo de substância com funções reológicas espessantes é a carboximetilcelulose (cmc).

Em seguida, os grupos podem avaliar o impacto ambiental de cada material em termos de consumo de recursos naturais, emissões de gases poluentes, geração de resíduos e outros fatores relevantes. Por fim, cada grupo deve apresentar os resultados da análise para a turma e

discutir as implicações da escolha de materiais na sustentabilidade, resistência e reologia dos produtos.

A atividade pode ser enriquecida com debates e discussões sobre as escolhas feitas pela indústria e o papel dos consumidores na demanda por produtos sustentáveis, bem como a futura atuação profissional dos alunos na escolha de materiais mais adequados. Vale ressaltar que pesquisas recentes, como as de Jagoda, Gamage e Karunathilake (2023), Prabatha *et al*. (2020) e Zhang *et al*., (2021), já estão utilizando a perspectiva do PCV para auxiliar na tomada de decisão.

Para a disciplina de Aditivação e Degradação de Polímeros, do curso de Engenharia de Materiais, uma sugestão de atividade consiste na realização de uma pesquisa sobre produtos plásticos comercializados em supermercados e caracterizados como "sustentáveis". Os alunos devem avaliar as informações contidas nas embalagens, considerando o tipo de polímero utilizado e sua degradabilidade, incluindo as opções biodegradáveis e oxibiodegradáveis (Apêndice M).

Ademais, os alunos devem realizar uma análise crítica sobre as vantagens e desvantagens de cada tipo de embalagem, levando em conta aspectos ambientais e econômicos, além dos requisitos para a degradabilidade, como a presença de agentes de degradação e a questão dos microplásticos e nanoplásticos.

Estudos têm demonstrado a importância da avaliação da degradabilidade de materiais poliméricos (Abdelmoez *et al*., 2021; Musiol *et al*., 2017; Napper; Thompson, 2019) para esclarecer dúvidas sobre a degradabilidade de cada material, assegurar a rotulagem adequada e alertar para os riscos da liberação de microplásticos no meio ambiente (Dong *et al*., 2023).

Pontos importantes para discussão são: o tempo de prateleira de um produto e a embalagem que o contém, a possibilidade de reuso da embalagem sem reprocessamento, bem como os cenários exequíveis de destino adequado.

Os resultados da pesquisa podem ser apresentados em cartazes, nas quais os alunos poderão fixar os recortes das embalagens e as informações pesquisadas. Esses trabalhos podem ser expostos em espaços abertos da universidade, permitindo que a comunidade escolar tenha acesso às informações e possam se conscientizar sobre o tema.

Uma alternativa adicional é disponibilizar o resultado físico correspondente aos cartazes através de um QR Code (https://qr.io/), direcionando para um espaço digital específico onde as informações sobre o assunto podem ser encontradas. Além disso, as equipes também podem disponibilizar o material em redes sociais, ampliando o alcance do trabalho desenvolvido.

Para a disciplina de Projeto do Produto e do Processo, do curso de Engenharia de Produção, os estudantes devem escolher um tópico relacionado ao desenvolvimento do produto e processo produtivo com foco no ciclo de vida de materiais, como a escolha de materiais, a otimização do uso de energia ou a gestão de resíduos. A turma deve ser dividida em grupos e a cada grupo deve ser atribuída uma perspectiva específica, como meio ambiente, economia e sociedade (Apêndice N).

Os alunos devem realizar uma pesquisa sobre o tema e preparar argumentos embasados para um debate em sala de aula, onde cada grupo apresentará sua perspectiva e debaterá as soluções propostas pelos outros grupos. É importante que também considerem os impactos positivos e negativos associados a cada perspectiva, a fim de apresentar uma visão abrangente do tópico. O debate deve se concentrar na análise crítica das soluções propostas, na identificação de lacunas ou limitações e na busca por soluções mais abrangentes e sustentáveis.

Por exemplo, a pesquisa realizada por Herrmann *et al.* (2018) enfatiza a importância de tornar estruturas mais leves, uma vez que isso contribui para aprimorar o desempenho do produto e a redução de custos, porém, pode acarretar desafios na minimização dos impactos ambientais.

Na disciplina de Planejamento e Controle da Produção II, do curso de Engenharia de Produção, uma metodologia adotada é o uso de um jogo simulador de chão de fábrica. Nesse contexto, sugeriu-se que os alunos respondessem a um questionário enquanto jogam, com perguntas elaboradas para incluir a perspectiva do PCV (Apêndice O).

Wasquevite *et al.* (2018) utilizaram o *software* de simulação *FlexSim* nas disciplinas de Sistemas de Produtos, do curso de Engenharia de Produção. A proposta consistiu na simulação de uma fábrica de pneus a fim de que os alunos compreendam de maneira mais clara as causas e os efeitos do acúmulo de estoque e formação de gargalos na produção. O objetivo foi desenvolver um sistema produtivo que utilize melhor os recursos, aumente a eficiência e reduza os custos atrelados aos problemas apresentados.

Na disciplina de Saneamento Básico do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, os alunos terão a oportunidade de construir maquetes que representem um tema específico relacionado ao saneamento básico, como tratamento de água, coleta e tratamento de esgoto, gestão de resíduos sólidos ou drenagem urbana (Apêndice P).

Essa atividade será realizada em grupos, onde os alunos realizarão pesquisas sobre técnicas sustentáveis aplicadas ao tema escolhido, levando em consideração os aspectos sociais, ambientais e econômicos. Eles serão encorajados a analisar os impactos das soluções convencionais nessas áreas e propor alternativas sustentáveis. O objetivo final é desenvolver

uma compreensão ampla sobre saneamento básico, promovendo a conscientização sobre sua importância e estimulando os alunos a pensarem criticamente sobre soluções sustentáveis nesse campo.

Para a disciplina de Pavimentação Engenharia, do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, a proposta da atividade é abordar uma perspectiva sistêmica nos projetos de pavimentação, considerando os aspectos ambientais, sociais e econômicos envolvidos. Os estudantes irão realizar estudos de caso reais, analisando os desafios desses projetos e propondo soluções sustentáveis (Apêndice Q).

Os estudantes irão considerar os impactos ambientais, como desmatamento e compactação do solo, os impactos sociais, como acesso e segurança viária, e os impactos econômicos, como custos e benefícios do projeto. A partir dessas análises, elaborarão um relatório que apresente as soluções propostas, justificando suas escolhas e considerando os princípios da sustentabilidade.

Estudos baseados na sustentabilidade têm sido desenvolvidos fim de auxiliar os profissionais de engenharia que trabalham com projetos de pavimentos rodoviários na tomada de decisões. Por exemplo, Santos *et al.* (2019) demonstraram por meio de uma análise de decisão multicritério, que uma mistura de asfalto quente espumado, contendo 50% de pavimento asfáltico recuperado, é a opção mais sustentável entre as alternativas concorrentes analisadas.

Nascimento *et al.* (2020) também enfatizam que, por meio da Análise Envoltória de Dados, é possível combinar a ACV dos materiais utilizados com a análise dos custos de construção da infraestrutura. Isso permite a escolha de estruturas de pavimentação que produzam menor impacto ambiental em comparação com a abordagem tradicional, que se baseia apenas em custos de construção e vida útil, sem abandonar os critérios financeiros e de custo-benefício.

Para a disciplina de Transportes, do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, propõe-se uma simulação de projetos de transporte, na qual os estudantes, divididos em grupos, serão responsáveis por desenvolver soluções para um local específico, considerando os principais desafios brasileiros no desenvolvimento de sistemas de transporte e as diferentes dimensões da sustentabilidade. Os grupos devem abordar aspectos como falta de investimento e infraestrutura deficiente, congestionamentos, desigualdade de acesso ao transporte, impactos ambientais e eficiência logística (Apêndice R).

Durante a simulação, os grupos devem propor soluções que abordem os desafios identificados, considerando os aspectos sociais, econômicos e ambientais envolvidos. Devem

apresentar os resultados da simulação, destacando as principais descobertas, as soluções propostas e as justificativas embasadas nas considerações multidimensionais. Em seguida, será promovida uma discussão em sala de aula para reflexão crítica sobre as soluções apresentadas, identificando possíveis melhorias e discutindo o papel dos engenheiros cartográficos e de agrimensura no desenvolvimento de projetos multidimensionais.

A pesquisa realizada por Uchehara *et al.* (2022) também ressalta a importância de considerar a sustentabilidade em projetos de infraestrutura e transportes. Ela demonstra que a utilização de 36 indicadores de sustentabilidade na análise da situação da Nigéria, é possível evidenciar a relação direta entre o desenvolvimento insustentável de infraestruturas urbanas e a degradação ambiental. Essa degradação inclui o esgotamento acelerado dos recursos naturais e o aumento da pegada de carbono.

A proposta da atividade para a disciplina de Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania, do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura é realizar uma análise socioeconômica e ambiental dos bairros de Teresina-PI, com o objetivo de compreender as desigualdades existentes, as consequências para a qualidade de vida dos moradores e as oportunidades de melhoria (Apêndice S).

Os estudantes irão analisar o documento "Perfil dos Bairros de Teresina-PI" e realizar uma análise comparativa entre dois bairros de zonas diferentes, considerando indicadores socioeconômicos, infraestrutura, serviços, questões ambientais, dinâmicas espaciais, turismo, cultura e lazer. A partir dessas análises, os estudantes irão apresentar os resultados e promover discussões sobre as desigualdades, impactos socioambientais e possíveis melhorias, estimulando a reflexão sobre o papel dos profissionais de planejamento urbano na busca por soluções.

Wang *et al.* (2018) destacaram que os valores de serviços ecossistêmicos avaliados de acordo com diferentes mapas de uso e cobertura da terra são importantes para o planejamento urbano e o desenvolvimento sustentável.

As ideias de temas de aulas propostos fornecem aos exemplos de implementar a abordagem do PCV de forma mais integrada e coesa no contexto de cada disciplina. O desenvolvimento de orientações específicas pode contribuir para uma aplicação mais consistente e abrangente do PCV nas diversas disciplinas dos cursos de Engenharia.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os países que lideram os estudos relacionados à implementação do Pensamento do Ciclo de Vida no ensino são os Estados Unidos e o Reino Unido. Até o momento, essa abordagem ainda não foi explorada no Brasil. A Educação Superior, especialmente nos cursos de graduação e pós-graduação de Engenharia, tem sido o principal nível de ensino onde essas pesquisas têm sido realizadas.

Os estudos destacam a Avaliação do Ciclo de Vida como uma ferramenta tanto para os alunos, no desenvolvimento de projetos para avaliar os impactos ambientais, quanto para os professores, como recurso didático. Esta abordagem enfatiza a importância de introduzir o PCV desde a base educacional, para que os alunos possam compreender de forma mais abrangente os impactos ambientais, econômicos e sociais.

A análise dos PPC de Engenharia aponta para um potencial de abordagem da sustentabilidade e do PCV no currículo, incluindo aspectos econômicos, sociais e ambientais às pautas relativas a cada profissional. Além disso, os cursos têm uma abordagem interdisciplinar, enfatizando a importância de uma visão sistêmica para a resolução de problemas complexos. Por exemplo, o uso das normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2014a) e NBR ISO 14044 (ABNT, 2014b), podem ser utilizadas para subsidiar a identificação de oportunidades de melhoria do desempenho de produtos do ponto de vista ambiental, econômico e social.

Embora o curso de Engenharia de Materiais já inclua elementos relacionados ao PCV em algumas disciplinas, como "Aditivação e Degradação de Polímeros", a presença de temas específicos, como economia circular, ecodesign e logística reversa, ainda é limitada ou ausente. Assim, embora o curso esteja começando a incorporar esses elementos na matriz curricular, há espaço para uma integração mais ampla e especializada desses temas.

O curso de Engenharia de Produção demonstra preocupação com os aspectos econômicos e sociais, mas é necessário expandir e fortalecer a integração de questões ambientais no currículo. Além disso, a adoção de abordagens de ensino mais dinâmicas e participativas é essencial para aprimorar a experiência de aprendizado dos estudantes e prepará-los adequadamente para os desafios contemporâneos da engenharia de produção.

O curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura adota uma abordagem abrangente, integrando aspectos ambientais, sociais e econômicos em sua estrutura curricular. A inclusão de temas como direitos humanos, desenvolvimento sustentável e estudos de viabilidade econômica prepara os estudantes a enfrentarem os desafios contemporâneos de

maneira informada e consciente. Além disso, destaca-se a atenção dedicada a questões específicas, como os impactos ambientais em obras de pavimentação, evidenciando um compromisso com práticas sustentáveis no exercício da profissão.

A utilização de ferramentas relacionadas ao ciclo de vida e à ACV básica oferece aos estudantes a oportunidade de avaliar e mitigar os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida dos projetos. Embora haja espaço para aprimorar aspectos como a implementação de práticas laboratoriais e visitas técnicas, o curso proporciona uma formação abrangente, desenvolvendo habilidades fundamentais, como resolução de problemas e trabalho em equipe.

Vale ressaltar que a inclusão da sustentabilidade e da interdisciplinaridade já está prevista nas diretrizes estabelecidas Resolução CNE/CES nº 2/2019. Essa Resolução busca atualizar e aprimorar a formação dos engenheiros, incorporando aspectos importantes para a atuação profissional responsável e alinhada com as demandas da sociedade contemporânea. Isso é fundamental, pois os desafios enfrentados pelos engenheiros envolvem conhecimentos técnicos específicos e a compreensão de questões sociais, econômicas, ambientais, culturais e políticas.

A abordagem interdisciplinar dos cursos também permite aos alunos compreensões amplas e profundas dos desafios enfrentados pela sociedade e do papel que a engenharia pode desempenhar na promoção do desenvolvimento sustentável (Lesar; Chen; Apelian, 2012). Por outro lado, há um risco de que a interdisciplinaridade seja superficial. Por isso, é importante que os currículos sejam desenhados de maneira a fomentar a colaboração entre diferentes áreas do conhecimento, promovendo projetos e atividades que exijam a aplicação prática de conceitos interdisciplinares. Além disso, os docentes precisam estar preparados e dispostos a trabalhar de forma colaborativa, algo que nem sempre é fácil de implementar devido a tradições acadêmicas e estruturais existentes nas instituições de ensino (Campbell; Henning, 2010).

Diante disso, enfatiza-se a necessidade de priorizar a implementação do PCV no processo de ensino-aprendizagem, permitindo que os alunos compreendam determinado assunto como um todo, conseguindo integrar e associar com outros conceitos, a fim de que aprimorem a capacidade de pensar, questionar e otimizar ideias e/ou projetos que se propuseram desenvolver e aprender.

A disciplina de Ciências do Ambiente com variações na abordagem do PCV entre docentes diferentes, destaca a importância de fornecer orientações claras e capacitação aos professores para promover uma implementação mais abrangente dessa perspectiva nas aulas.

Portanto, é fundamental ampliar a implementação do PCV no ensino de Engenharia, não apenas para aprimorar a formação dos alunos, mas também para fomentar uma cultura de

sustentabilidade nas universidades e, consequentemente, na sociedade. As orientações sugeridas podem contribuir para uma aplicação mais consistente e abrangente do PCV nas diversas disciplinas dos cursos de Engenharia, potencialmente qualificando os engenheiros de diversas maneiras, como através da integração prática, tomada de decisões sustentáveis, visão sistêmica e desenvolvimento de habilidades interdisciplinares.

No mundo profissional, os projetos de engenharia frequentemente envolvem profissionais de diversas áreas trabalhando juntos para alcançar objetivos comuns. Portanto, habilidades de colaboração e comunicação são essenciais para o sucesso profissional em engenharia.

Os resultados desta pesquisa representam um avanço significativo para o ensino de Engenharia, oferecendo *insights* valiosos para o desenvolvimento curricular e aprimoramento da formação dos futuros engenheiros. A análise de 173 planos de disciplina foi fundamental para alcançar essas conclusões, destacando-se como uma contribuição importante para a Universidade Federal do Piauí e outras Instituições de Ensino Superior com matrizes curriculares semelhantes para os cursos de graduação em Engenharia analisados.

Assim, esta pesquisa contribui para a formação de profissionais mais conscientes e capacitados, e para o fomento de uma cultura de sustentabilidade nas universidades e na sociedade em geral, possibilitando um impacto positivo a longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABDELMOEZ, W.; DAHAB, I.; RAGAB, E. M.; ABDELSALAM, O. A.; MUSTAFA, A. Bio-and oxo-degradable plastics: Insights on facts and challenges. **Journals Polymers for Advanced Technologies**, vol. 32, n. 5, p. 1981-1996, 2021.

ADIEGO, J.; MARTÍN-CRUZ, N. Training competences in smart cities: an online program for higher education students. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 22, n. 7, p. 1630-1645, 2021. DOI: 10.1108/IJSHE-08-2020-0307

ARAYA, V.; ALFARO, M.; ANDONEGUI, M. Constructivismo: origenes y perspectiva. **Revista de Educación**, v. 13, n. 24, p. 76-92, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: **Gestão ambiental – Princípios e estrutura**. Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: **Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações**. Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001: **Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2015.

ANASTAS, P. T.; ZIMMERMAN, J. B. Design através dos 12 princípios da engenharia ecológica. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 5, p. 94A-101A, 2003.

AZEVEDO, L. M.; AZEVEDO, M. A. R. A concepção interdisciplinar nos currículos de formação docente em Física de universidades federais brasileiras: a ideia da interdisciplinaridade como refratada nas políticas educacionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 40, n. 1, p. 188-220, 2023. DOI: 10.5007/2175-7941.2023.e87090

AYRES, R. U.; AYRES, L. W. **A handbook of industrial ecology**. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing, p. 1-680, 2002.

BACICH, L.; MORAN, J. M. **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2017.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Tradução: RETO, L. A.; PINHEIRO, A. São Paulo. Edições 70, 2016.

BARRETO, M. R. M. C.; ANONNI, M. E. M. Teorias da aprendizagem no desenvolvimento humano: construtivismo e interacionismo. **Congresso Brasileiro Ciência e Sociedade**, 2019. DOI: 10.17648/cbcs-2019-110624

BEEMT, A. V.; MACLEOD, M.; VEEN, J. V.; VEN, A. V.; BAALEN, S. V.; KLAASSEN, R.; BOON, M. Interdisciplinary engineering education: a review of vision, teaching, and support. **Journal of Engineering Education**, v. 109, p. 508-555, 2020. DOI: 10.1002/jee.20347

BERASATEGI, N.; ARÓSTEGUI, I.; JAUREGUIZAR, J.; AIZPURUA, A.; GUERRA, N.; ARRIBILLAGA-IRIARTE, A. Interdisciplinary Learning at University: Assessment of an

Interdisciplinary Experience Based on the Case Study Methodology. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7732, 2020. DOI: 10.3390/su12187732.

BLOOM, B. S.; ENGELHART, M. D.; FURST, E. J.; HILL, W. H.; KRATHWOHL, D. R. **Taxonomy of educational objectives**: The classification of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain. David McKay. New York, 1956.

BONOU, A.; OLSEN, S. I; HAUSCHILD, M. Z. Introducing life cycle thinking in product development – A case from Siemens Wind Power. CIRP Annals. **Manufacturing Technology**, v. 64, p.45–48, 2015. DOI 10.1016/j.cirp.2015.04.053

BONOU, A.; SKELTON, K.; OLSEN, S. I. Ecodesign framework for developing wind turbines. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p. 643-653, 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.02.093

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm. Acesso em: 31 de agosto de 2023.

BRASIL. Ministério da Educação**. Base Nacional Comum Curricular.** Brasília, DF: MEC, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#introducao. Acesso em: 31 de agosto 2023.

BRASIL. **Programa Nacional De Educação Ambiental – ProNEA**. Ministério do Meio Ambiente, Diretoria de Educação Ambiental; Ministério da Educação. Coordenação Geral de Educação Ambiental. 3 ed, p. 102. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BRASIL. **Projeto Pedagógico de reformulação do curso de bacharelado em Engenharia de Materiais.** Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI. 2018a.

BRASIL. **Projeto Pedagógico do curso de graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.** Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI. 2014.

BRASIL. **Projeto Pedagógico do curso de graduação em Engenharia de Produção.** Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI. 2018b.

BRASIL. RESOLUÇÃO Nº 2, DE 24 DE ABRIL DE 2019. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**. Disponível em <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolu%C3%87%C3%83o-n%C2%BA-2-de-24-de-abril-de-2019-85344528>. Acesso em 31 ago. 2021.

BURNLEY, S.; WAGLAND, S.; LONGHURST, P. Using life cycle assessment in environmental engineering education. **Higher Education Pedagogies**, v. 4, n. 1, p. 64-79, 2019. DOI 10.1080/23752696.2019.1627672

CAMPOS, E. A. R.; PAULA, I. C. CATEN, C. S.; MAÇADA, A. C. G.; MARÔCO, J. ZIEGELMANN, P. K. The effect of collaboration and IT competency on reverse logistics competency - Evidence from Brazilian supply chain executives. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 84, p. 1-11, 2020. DOI 10.1016/j.eiar.2020.106433

CARETTA, A.; BUA, L.; GAMBARO, C. An application of the Life Cycle Thinking: Green refinery enhancements. **Fuel**, n. 305, p. 1-10, 2021. DOI 10.1016/j.fuel.2021.121559

COSME, N.; HAUSCHILD, M. Z.; MOLIN, C.; ROSENBAUM, R. K.; LAURENT, A. Learning-by-doing: experience from 20 years of teaching LCA to future engineers. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, p. 553–565, 2019. DOI 10.1007/s11367-018-1457-5

CREAGH, S.; THOMPSON, G.; MOCKLER, N.; STACEY, M.; HOGAN, A. Workload, work intensification and time poverty for teachers and school leaders: a systematic research synthesis, **Educational Review**, p. 1-20, 2023. DOI:10.1080/00131911.2023.2196607

DERLER, H.; BERNER, S.; GRACH, D.; POSCH, A.; SEEBACHER, U. Project-Based Learning in a Transinstitutional Research Setting: Case Study on the Development of Sustainable Food Products. **Sustainability,** v. 12, n. 233, p. 1-15, 2020. DOI 10.3390/su12010233

DONG, X.; LIU, X.; HOU, Q.; WANG, Z. From natural environment to animal tissues: a review of microplastics (nanoplastics) translocation and hazards studies. **Science of the Total Environment**, v. 855, p. 1-15, 2023. DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.158686

DUARTE, M.; CAEIRO, S. S.; FARINHA, C. S.; MOREIRA, A.; SANTOS-REIS, M.; RIGUEIRO, C.; SIMÃO, J. Integration of sustainability in the curricula of public higher education institutions in Portugal: do strategic plans and self-report align? International **Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 24, n. 9, p. 299-317, 2023. DOI10.1108/IJSHE-01-2023-0001

DUBAUSKIENE, N.; VALINEVICIUS, A.; ANDRIUKAITIS, D.; ZILYS, M.; NAVIKAS, D.; MARKEVICIUS, V.; MERFELDAS, A. Innovative Teaching Methods for Engineering Students. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, v. 1, p. 1-4, 2020.

EBRAHIMI, S. M.; KOH, L. Manufacturing sustainability: Institutional theory and life cycle thinking. **Journal of Cleaner Production**, v. 298, p. 1-10, 2021. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.126787

ESPÍNDOLA, G. M.; CARNEIRO, E. L. N. C. FAÇANHA, A. C. Four decades of urban sprawl and population growth in Teresina, Brazil. **Applied Geography**, v. 79, p. 73-83, 2017. DOI 10.1016/j.apgeog.2016.12.018

FALUDI, J.; GILBERT, C. Best practices for teaching green invention: Interviews on design, engineering, and business education. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, p.1246-1261, 2019. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.06.246

FAVI; MARCONI; GERMANI, 2019. Teaching eco-design by using LCA analysis of company's product portfolio: the case study of na Italian manufacturing firm. **Procedia CIRP**, v. 80, p. 452-457, 2019. DOI: 10.1016/j.procir.2019.01.032

FELGUEIRAS, M. C.; ROCHA, J. S.; CAETANO, N. Engineering education towards sustainability. **Energy Procedia**, v. 136, p. 414-417, 2017. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.266

FURLAN, P. Y.; JARAVATA, E. J.; FURLAN, ALEXANDER Y.; KAHL, P. Will It Rust? A Set of Simple Demonstrations Illustrating Iron Corrosion Prevention Strategies at Sea. **Journal of Chemical Education**, v. 100, n. 2, p. 1081-1088, 2023. DOI 10.1021/acs.jchemed.2c00802

GALLEGO-SCHMID, A.; RIVERA, X. C. S.; STAMFORD, L. Introduction of life cycle assessment and sustainability concepts in chemical engineering curricula. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 19, n. 3, p.442-458, 2018. DOI 10.1108/IJSHE-09-2017-0146

GARG, V.; NIKAM, B. R.; THAKUR, P. K.; AGGARWAL, S. P.; CHOUKSEY, A.; DHOTE, P. R. Importance of incorporation of geospatial technology applications in water resources at graduate and post-graduate courses of civil engineering. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-5, p. 111-116, 2018.

GANTOGTOKH, O.; QUINLAN, K. M. Challenges of designing interdisciplinary postgraduate curricula: case studies of interdisciplinary master's programmes at a research-intensive UK university. **Teaching in Higher Education**, v. 22, n. 5, p. 569-586, 2017. DOI: 10.1080/13562517.2016.1273211.

GILMORE K. R. Teaching life cycle assessment in environmental engineering: a disinfection case study for students. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p.1706-1708, 2016. DOI 10.1007/s11367-016-1138-1

GIROTTI, L. J. MESQUITA, M. A. Simulação e estudos de caso no ensino de planejamento e controle da produção: um survey com professores da engenharia de produção. **Production**, v. 26, n. 1, p. 176-189, 2016. DOI 10.1590/0103-6513.145013

GINZBURG, A. L.; CHECK, C. E.; HOVEKAMP, D. P.; SILLIN, A. N.; BRETT, J.; ESHELMAN, H.; HUTCHISON, J. E. Experiential Learning to Promote Systems Thinking in Chemistry: Evaluating and Designing Sustainable Products in a Polymer Immersion Lab. **Journal of Chemical Education**, v. 96, p.2863−2871, 2019.
DOI 10.1021/acs.jchemed.9b00336

GURON, M.; PAUL, J. J.; ROEDER, M. H. J. Incorporating Sustainability and Life Cycle Assessment into First-Year Inorganic Chemistry Major Laboratories. **Chemical Education**, v. 93, p. 639-644, 2016. DOI 10.1021/acs.jchemed.5b00281

HAATAINEN, O.; AKSELA, M. Project-based learning in integrated science education: Active teachers' perceptions and practices. **International Journal on Math, Science and Technology Education**, v. 9, n. 1, p. 149-173, 2021. DOI: 10.31129/LUMAT.9.1.1392

HAYS, J. M.; PERESEINA, V.; ALSHUAIBIA, A. S. I.; SAHAA, J. Lessons in Sustainable Process Paradigm. A case study from Dubai. **The International Journal of Management Education**, v. 18, p. 1-14, 2020. DOI 10.1016/j.ijme.2020.100366

HERRMANN, C.; DEWULF, W.; HAUSCHILD, M.; KALUZA, A.; KARA, S.; SKERLOS, S. Life cycle engineering of lightweight structures. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 67, p. 651-672, 2018. DOI 10.1016/j.cirp.2018.05.008

HESKETH, R. P.; GREGG, M. H.; SLATER, C. S. Chapter 4 Green engineering education. **Sustainability Science and Engineering**, v. 1, p. 47-87, 2006. DOI 10.1016/S1871-2711(06)80011-5

HOBOLD, M. S. Desenvolvimento profissional dos professores: aspectos conceituais e práticos. **Práxis Educativa**, v. 13, n. 2, p. 425-442, 2018.

IBICT. **O Pensamento do Ciclo de Vida: uma história de descobertas**. 2 ed. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia- Ibict, Brasília, p.56, 2016. Disponível emhttps://acv.ibict.br/documentos/publicacoes/1173-o-pensamento-do-ciclo-de-vida-uma-historia-de-descobertas-2/. Acesso em: 31 ago. 2023.

IKHLAYEL, M. Development of management systems for sustainable municipal solid waste in developing countries: a systematic life cycle thinking approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 571-586, 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.01.057

INGRAO, C.; MESSINEO, A.; BELTRAMO, R.; YIGITCANLAR, T.; IOPPOLO, G. How can life cycle thinking support sustainability of buildings? Investigating life cycle assessment applications for energy efficiency and environmental performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 556-569, 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.08.080

IVANITSKAYA, L.; CLARK, D.; MONTGOMERY, G.; PRIMEAU, R. Interdisciplinary Learning: Process and Outcomes. **Innovative Higher Education**, v. 27, n. 2, p. 95-111, 2002.

JAGODA, S. U. M.; GAMAGE, J. R.; KARUNATHILAKE, H. P. Environmentally sustainable plastic food packaging: A holistic life cycle thinking approach for design decisions. **Journal of Cleaner Production**, v. 400, p. 1-17, 2023. DOI 10.1016/j.jclepro.2023.136680

JAISLI, I.; BÄTTIG-FREY, P.; EYMANN, L.; MARIANI, E.; STUCKI, M. Scientainment for Sustainability: The Eco-Confessional as a New Approach for Life Cycle Thinking. **Sustainability**, v. 11, p. 1-14, 2019. DOI 10.3390/su11205686

JUNTUNEN, M.; AKSELA, M. Life-cycle thinking in inquiry-based sustainability education – effects on students' attitudes towards chemistry and environmental literacy. **CEPS Journal**, v. 3, n. 2, p. 157-180, 2013.

KAIHAN, Y.; CHIN, T. A. Revisit the Effect of Reverse Logistics Practices on Sustainability Performance**. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences**, v. 11, n. 11, p. 2093-2110, 2021. DOI:10.6007/IJARBSS/v11-i11/11424

KIKUCHI-UEHARA, E.; NAKATANI, J.; HIRAO, M. Analysis of factors influencing consumers' proenvironmental behavior based on life cycle thinking. Part II: trust model of environmental information. **Journal of Cleaner Production**, v. 125, p. 216-226, 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.03.011

KIMEL, R. A.; SINNOTT, S. B. The materials science and engineering undergraduate enrollment floodgates are open. **Materials Research Society Bulletin**, v. 43, p. 257-261, 2018.

KRATHWOHL, D. A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. **Theory Into Practice**, v. 41, n. 4, p. 212–218, 2002. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2

KURISU, K.; OKABE, H.; NAKATANI, J.; MORIGUCHI, Y. Development of board game to encourage life cycle thinking, and trial with university students in Japan**. Cleaner and Responsible Consumption**, v. 3, p. 1-16, 2021. DOI 10.1016/j.clrc.2021.100033

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. Cortez Editora, São Paulo, SP, 1990.

LIMA, K. K. S.; SILVA, M. T.; BRAGA, C. C.; FONTGALLAND, I. L.; SOUSA, W. G. Dinâmica espaço temporal do uso e cobertura do solo na região do MATOPIBA. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n.1, p. 281-296, 2024.

LIN, K. Y.; LEVAN, A.; DOSSICK, C. S. Teaching Life-Cycle Thinking in Construction Materials and Methods: Evaluation of and Deployment Strategies for Life-Cycle Assessment in Construction Engineering and Management Education. **Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice**, v. 138, n. 3, p. 163-170, 2012. DOI 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000106

LIU, Y.; ZHU, Z.; SHI, J.; ZHAO, S.; LIU, F.; JIN, H. Facile synthesis and economic analysis of Cu/C catalyst for efficient biodiesel production. **International Journal of Energy Research**, v. 46, p. 19814–19825, 2022. DOI: 10.1002/er.8716

LOPERA, H. A. C.; GUTIÉRREZ-VELÁSQUEZ, E.; BALLESTEROS, N. Bridging the gap between theory and active learning: a case study of project-based learning in introduction to Materials Science and Engineering. **IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje,** v. 17, n. 2, p. 160-169, 2022. DOI 10.1109/RITA.2022.3166862

MAGODI, A. Y.; DANIYAN, I. A.; MPOFU, K. An investigation of the effect of the ISO 9001 Quality Management System on small and medium enterprises in Gauteng, South Africa. **The South African Journal of Industrial Engineering**, v. 33, n. 1, p. 126-138, 2022. DOI 10.7166/33-1-2521

MAHLAN, S.; FRANCIS, A.; THUMUGANTI, V.; THOMAS, A.; SADICK, A-M.; TOKEDE, O. An integrated life cycle assessment and energy simulation framework for residential building walling systems**. Building and Environment**, v. 257, p. 111542, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111542

MAJOR, L.; NAMESTOVSKI, Z.; HORÁK, R.; BAGÁNY, A.; KREKIC, V. P. Teach it to sustain it! Environmental attitudes of Hungarian teacher training students in Serbia. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 255-268, 2017. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.03.163

MAMMADOV, A.; VALI, V. Promoting life cycle assessment in Azerbaijan. **Sustainable Production and Consumption**, v. 24, p.139–149, 2020.
DOI 10.1016/j.spc.2020.07.004

MARINELLI, S.; LOLLI, F.; GAMBERINI, R.; RIMINI, B. Life Cycle Thinking (LCT) applied to residential heat pump systems: A critical review. **Energy & Buildings**, v. 185, p. 210-233, 2019. DOI 10.1016/j.enbuild.2018.12.035

MARTINAZZO, R.; MULLER, C. A.; TEIXEIRA, L. C.; STUMPF, L.; ANTUNES, W. R.; METZ, L. E. G.; VALGAS, R. A.; BAMBERG, A. L.; SILVEIRA, C. A. P. Leather-based fertilizers from Personal Protective Equipment (PPE) reverse logistics: Technical efficiency and environmental safety. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 18, p. 1-9, 2023. DOI 10.1016/j.rcradv.2023.200153

MAUS, I. G. Developing design literacy for sustainability: Lower secondary students' life cycle thinking on their craft-based design products. **FormAkademisk**, v. 12, n. 1, p.1-18, 2019. DOI 10.7577/formakademisk.1725

MILOVANOVIC, J.; SHEALY, T.; KATZ, A. Higher Perceived Design Thinking Traits and Active Learning in Design Courses Motivate Engineering Students to Tackle Energy Sustainability in Their Careers. **Sustainability**, v. 13, n. 12570, p. 1-14, 2021. DOI 10.3390/su132212570

MOLDEREZ, I.; CEULEMANS, K. The power of art to foster systems thinking, one of the key competencies of education for sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 758-770, 2018.

MONTÉS, N.; ALOY, P.; FERRER, T.; ROMERO, P.D.; BARQUERO, S.; MARTINEZ CARBONELL, A. EXPLORIA, STEAM Education at University Level as a New Way to Teach Engineering Mechanics in an Integrated Learning Process. **Applied Sciences**, v. 12, n. 10, p. 5105, 2022. DOI 10.3390/app12105105

MORARU, G. M. Management and Marketing Techniques useful in shaping the thinking of future engineers. **15th International Technology, Education and Development Conference,** p. 8174-8178, 2021. DOI 10.21125/inted.2021.1651

MUSIOŁ, M.; RYDZ, J.; JANECZEK, H.; RADECKA, I.; JIANG, G.; KOWALCZUK, M. Forensic engineering of advanced polymeric materials Part IV: Case study of oxo-biodegradable polyethylene commercial bag - Aging in biotic and abiotic environment. **Waste Management**, v. 64, p. 20-27, 2017. DOI 10.1016/j.wasman.2017.03.043

NAEINI, H. S.; DALAL, K.; MOSADDAD, S. H.; KARUPPIAH, K. Economic Effectiveness of Ergonomics Interventions. International Journal of Industrial **Engineering & Production Research**, v. 29, n. 3, p. 261-276, 2018. DOI 10.22068/ijiepr.29.3.261.

NAPPER, I. E; THOMPSON, R. C. Environmental Deterioration of Biodegradable, Oxo-biodegradable, Compostable, and Conventional Plastic Carrier Bags in the Sea, Soil, and Open-Air Over a 3-Year Period. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 9, p. 4775-4783, 2019.

NASCIMENTO, F.; GOUVEIA, B.; DIAS, F.; RIBEIRO, F.; SILVA, M. A. A method to select a road pavement structure with life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 1-11, 2020. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.122210

NATHAN, M. J.; WOLFGRAM, M.; SRISURICHAN, R.; WALKINGTON, C.; ALIBALI, M. W. Threading mathematics through symbols, sketches, software, silicon, and wood: Teachers produce and maintain cohesion to support STEM integration. **The Journal of Educational Research**, v. 110, n. 3, p. 272-293, 2017.

NOUSHEEN, A.; ZAI, S. A. Y.; WASEEM, M.; KHAN, S. A. Education for sustainable development (ESD): Effects of sustainability education on pre-service teachers' attitude towards sustainable development (SD). **Journal of Cleaner Production**, v. 250, p. 1-12, 2020. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.119537
OLSEN, S. I.; FANTKE, P.; LAURENT, A.; BIRKVED, M.; BEY, N.; HAUSCHILD, M. Z. Sustainability and LCA in engineering education – A course curriculum. **Procedia CIRP**, v. 69, p.627-632, 2018. DOI: 10.1016/j.procir.2017.11.114

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. UNESCO. **Educação para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**: objetivos de aprendizagem. Paris, 2017. ISBN: 978-85-7652-218-8. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252197. Acesso em: 31 ago. 2023.

ORTEGON, K. Life Cycle Engineering in an Industrial Engineering undergraduate program, from the classroom to the real life of students. **Procedia CIRP**, v. 80, p. 613–618, 2019. DOI 10.1016/j.procir.2019.01.011

PAIVA, M. R. F.; PARENTE, J. R. F.; BRANDÃO, I. R.; QUEIROZ, A. H. B. Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: revisão integrativa. **SANARE**, v. 15, n. 2, p.145-153, 2016.

PALETTA, A.; FAVA, F.; UBERTINI, F.; BASTIOLI, C.; GREGORI, G.; CAMERA, F.; DOUVAN, A. R. Universities, industries and sustainable development: Outcomes of the 2017 G7 Environment Ministerial Meeting. **Sustainable Production and Consumption**, v. 19, p. 1-10, 2019. DOI 10.1016/j.spc.2019.02.008

PEREIRA, O. C.; RIBEIRO, A. S. N.; SANTOS, S. S.; SIQUEIRA, A. J. S.; NASCIMENTO, M. S.; SANTOS, F. C. V.; GUZZI, A. Diversidade de aves em Parques Eólicos na APA Delta do Parnaíba, Nordeste, Brasil. Gaia Scientia, v. 13, n. 4, p. 109-129, 2019.

PÉREZ-FOGUET, A.; LAZZARINI, B. Continuing professional education in engineering faculties: Transversal integration of sustainable human development in basic engineering sciences courses. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, p. 772–781, 2019. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.02.054

PERINI, S.; LUGLIETTI, R.; MARGOUDI, M.; OLIVEIRA, M.; TAISCH. M. Learning and motivational effects of digital game-based learning (DGBL) for manufacturing education – The Life Cycle Assessment (LCA) game. **Computers in Industry**, v. 102, p. 40-49, 2018. DOI 10.1016/j.compind.2018.08.005

PERPIGNAN, C.; BAOUCH, Y.; ROBIN, V.; EYNARD, B. Engineering education perspective for sustainable development: A maturity assessment of cross-disciplinary and advanced technical skills in eco-design. **Procedia CIRP**, v. 90, p. 758-743, 2020. DOI 10.1016/j.procir.2020.02.051

POLLINI, B.; ROGNOLI, V. Early-stage material selection based on life cycle approach: tools, obstacles and opportunities for design. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, p. 1130-1139, 2021. DOI 10.1016/j.spc.2021.07.014

PRABATHA, T.; HEWAGE, K.; KARUNATHILAKE, H.; SADIQ, R. To retrofit or not? Making energy retrofit decisions through life cycle thinking for Canadian residences**. Energy & Buildings**, v. 226, p. 1-25, 2020. DOI 10.1016/j.enbuild.2020.110393

RAMANUJAN, D.; ZHOU, N.; RAMANI, K. Integrating environmental sustainability in undergraduate mechanical engineering courses using guided discovery instruction. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 190-203, 2019.

RAMPASSO, I. S.; ANHOLON, R.; SILVA, D.; ORDÓÑEZ, R. E. C.; QUELHAS, L. G.; SANTA-EULÁLIA, L. A. Developing in engineering students a critical analysis about sustainability in productive systems: Empirical evidences from an action research experience. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 20, n. 2, p. 229-244, 2019. DOI 10.1108/IJSHE-03-2018-0048

REYES, K.M.D.; BRUCE, K.; SHETRANJIWALLA, S. Green Chemistry, Life Cycle Assessment, and Systems Thinking: an Integrated Comparative-Complementary Chemical Decision-Making Approach. **Journal of Chemical Education**, v. 100, p. 209-220, 2023. DOI 10.1021/acs.jchemed.2c00647

RODRIGUES, R. A. Os impactos invisíveis da mineração de pequena escala da Opala no municipio de Pedro II – PI: fatores inibidores do desenvolvimento local. Contemporary Journal, v. 3, n. 9, p. 14565-14586, 2023.

ROURE, B.; ANAND, C.; BISAILLON, V.; AMOR, BEN. Systematic curriculum integration of sustainable development using life cycle approaches: the case of the Civil Engineering Department at the Université de Sherbrooke. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 19, n. 3, p. 589-607, 2018. DOI 10.1108/IJSHE-07-2017-0111

RYBACHUK, M. Teaching advanced materials curriculum through project-based reverse materials engineering product analysis. **Journal of Materials Education**, v. 42, n. 1-2, p. 107-108, 2020.

SALATINO, P.; CHIRONE, R.; CLIFT, R. Chemical engineering and industrial ecology: Remanufacturing and recycling as process systems. **The Canadian Journal oh Chemical Engineering**, v. 101, p. 283–294, 2023. DOI 10.1002/cjce.24625

SANTOS, J.; BRESSI, S.; CEREZO, V.; PRESTI, D. L. SUP&R DSS: A sustainability-based decision support system for road pavements. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 524-540, 2019. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.08.308

SHARMA, N.; KALBAR, P. P.; SALMAN, M. Global review of circular economy and life cycle thinking in building Demolition Waste Management: a way ahead for India**. Building and Environment,** 222, 1-17, 2022. DOI 10.1016/j.buildenv.2022.109413

SHERLI, M. C.; KANI, M. Need of life cycle thinking for effective utilisation of resources based on developed and developing countries: a scenario for future generation.

Environmental Science and Pollution Research, v. 25, p. 7280–7286, 2018. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1375-x

SOUSA, T. B.; SILVA, A. L. Agronegócio e transformações de práticas camponesas numa região do ecótono Cerrado-Caatinga, Sudoeste do Piauí. Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável, v. 2, n. 4, p.81-96, 2023.

STURM, C. H.; SCHRIPPE, P.; MEDEIROS, F. S. B.; KOSCHEK, J. F.; WEISE, A. D. Mapping and analysis of undergraduate and graduate Production Engineering courses in Brazil. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 1, p. 149-163, 2015. DOI 10.1590/0104-530X956-13

TAKALA, A.; KORHONEN-YRJANHEIKKI, K. A National Collaboration Process: Finnish Engineering Education for the Benefit of People and Environment. **Science and Engineering Ethics**, v. 19, p.1557–1569, 2013. DOI 10.1007/s11948-011-9330-y

TERMAAT, A. Nurturing interdisciplinary practice in small secondary schools. **Cogent Education**, v. 10, n. 2, p. 1-18, DOI: 10.1080/2331186X.2023.2225003

TOLPPANEN, S.; JÄPPINEN, I.; KÄRKKÄINEN, S.; SALONEN, A.; KEINONEN, T. Relevance of Life-Cycle Assessment in Context-Based Science Education: A Case Study in Lower Secondary School. Sustainability, v. 11, p. 5877, 2019. DOI 10.3390/su11215877

TONNETTI, B.; LENTILLON-KAESTNER, V. Teaching interdisciplinarity in secondary school: a systematic review. **Cogent Education**, v. 10, n. 1, p. 1-17, 2023. DOI 10.1080/2331186X.2023.2216038

UCHEHARA, I.; MOORE, D.; JAFARIFAR, N.; OMOTAYO, T. Sustainability rating system for highway design:—A key focus for developing sustainable cities and societies in Nigeria. **Sustainable Cities and Society**, v. 78, p. 1-15, 2022. DOI 10.1016/j.scs.2021.103620

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Greening the Economy through Life Cycle Thinking e Ten Years of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative.** 2012. Disponível em < http://www.lifecycleinitiative.o//rg/wp-content/uploads/2013/03/2012_LCI_10_years_28.3.13.pdf > Acesso em: 31 ago. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI. **Regulamento Geral da Graduação.** Pró-Reitoria de Ensino de Graduação (PREG), p. 1-158, 2018.

VIANA, L. R.; DESSUREAULT, P-L.; MARTY, C.; LOUBET, P.; LEVASSEUR, A.; BOUCHER, J-F.; PARÉ, M. C. Would transitioning from conventional to organic oat grains production reduce environmental impacts? A LCA case study in North-East Canada. **Journal of Cleaner Production**, v. 349, 2022. DOI 10.1016/j.jclepro.2022.131344.

VIERE, T.; AMOR, B.; BERGER, N.; FANOUS, R. D.; ARDUIN, R. H.; KELLER, R.; LAURENT, A.; LOUBET, P.; STROTHMANN, P.; WEYAND, S.; WRIGHT, L.; SONNEMANN, G. Teaching life cycle assessment in higher education. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 26, p. 511–527, 2021. DOI 10.1007/s11367-020-01844-3

WAARD, E. F.; PRINS, G. T.; VAN JOOLINGEN, W. R. Engaging preuniversity students in sustainability and Life Cycle Assessment in upper-secondary chemistry education: the case of Polylactic Acid (PLA). **Journal of Chemical Education**, v. 99, p. 2991-2998, 2022. DOI 10.1021/acs.jchemed.2c00374

WANG, C.; WANG, Y.; WANG, R.; ZHENG, P. Modeling and evaluating land-use/land-cover change for urban planning and sustainability: A case study of Dongying city, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1529-1534, 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.10.294

WANNIARACHCHI, S.; PRABATHA, T.; KARUNATHILAKE, H.; LI, S.; ALAM, M. S.; HEWAGE, K.Life Cycle Thinking–Based Decision Making for Bridges under Seismic Conditions. II: a case study on bridges with superelastic SMA RC piers. **Journal of Bridge Engineering**, v. 27, n. 6, p. 1-17, 2022. DOI 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001885

WASQUEVITE, G. D.; BISPAR, C. G.; PERALTA, C. B. L.; OLIVEIRA, R. T.; GARBIN, F. G. B.; ACOSTA, F. G.; GUEDES, L. C.; TURCHETTI, V. P. Proposta de uso de um *software* de simulação e da metodologia de aprendizagem baseada em problemas nas disciplinas de sistemas produtivos em um curso de Engenharia de Produção. **Revista Principia**, v. 1, n. 39, p. 94-100, 2018.

WHALEN, K.A.; BERLIN, C.; EKBERG, J.; BARLETTA, I.; HAMMERSBERG, P. 'All they do is win': Lessons learned from use of a serious game for Circular Economy education. **Resources, Conservation & Recycling,** 135, 335-345, 2018. DOI 10.1016/j.resconrec.2017.06.021

WHICHER, A., HARRIS, C.; BEVERLEY, K.; SWIATEK, P. Design for circular economy: Developing an action plan for Scotland. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3237-3248, 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.11.009

XAVIER, L. S.; PEIXOTO, J. A. A.; SOUZA, C. G.; PONTES, A. T.; FUTURO, D. O. Life cycle thinking in graduate education: an experience from Brazil. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, p. 1433-1444, 2014. DOI 10.1007/s11367-014-0749-7.

ZHANG, H.; HEWAGE, K.; PRABATHA, T.; SADIQ, R. Life cycle thinking-based energy retrofits evaluation framework for Canadian residences: A Pareto optimization approach. **Building and Environment**, v. 204, p. 1-19, 2021. DOI 10.1016/j.buildenv.2021.108115

APÊNDICES

APÊNDICE A – Mapeamento dos planos de disciplina do curso de Engenharia de Materiais para identificação dos elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida

PERÍ-ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI-DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q* 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
1º	Cálculo Diferencial e Integral I																							
	Geometria Analítica																							
	Química Geral																							
	Seminário de Introdução a Eng. de Materiais																							✓
	Introdução à Ciência da Computação																							
	Inglês Instrumental																				✓			
2º	Cálculo Diferencial e Integral II																							
	Álgebra Linear																							✓
	Física Geral I																				✓			
	Química Orgânica																							
	Química Experimental																		✓					
	Ciência dos Materiais I															✓								
	Desenho Técnico																							
3º	Cálculo Diferencial e Integral III																							
	Equações Diferenciais																							
	Probabilidade e Estatística																				✓			
	Química Analítica																							
	Ciência dos Materiais II															✓								
	Mecânica Geral																							
	Física Geral II																				✓			
	Física Experimental I																		✓					
4º	Química Analítica Experimental																		✓					
	Físico-Química																							
	Física Geral III																				✓			
	Física Experimental II																		✓					

PERÍ-ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI-DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q* 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
	Termodinâmica dos Materiais																				✓			
	Materiais Cerâmicos																							
	Materiais Metálicos																							
	Materiais Poliméricos	✓	✓											✓										✓
5º	Fenômenos de Transporte																							
	Caracterização de Materiais																							
	Corrosão de Metais	✓												✓										
	Ensaios Mecânicos dos Materiais																							
	Métodos Numéricos																							✓
	Gestão da Qualidade													✓							✓	✓		
	Eletricidade Básica																				✓			✓
6º	Resistência e Reologia dos Materiais																					✓		
	Processamento dos Materiais Cerâmicos													✓										
	Processamento dos Materiais Metálicos													✓										
	Processamento dos Materiais Poliméricos												✓	✓					✓					✓
	Introdução à Economia	✓																			✓			
	Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho	✓						✓						✓		✓								
	Ciências do Ambiente	✓				✓		✓	✓					✓		✓								✓
7º	Aditivação e Degradação de Polímeros	✓					✓							✓		✓								✓
	Propriedades e Aplicações dos Materiais Cerâmicos																							
	Conformação e Soldagem																							
	Administração e Organização	✓													✓						✓			✓
	Empreendedorismo																							
	Metodologia e Técnicas de Pesquisa	✓																			✓			✓

PERÍ-ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI-DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q* 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
8º	Compósitos e Blendas																							
	Trabalho de Conclusão de Curso I																							
9º	Seleção de Materiais	✓												✓		✓								✓
	Trabalho de Conclusão de Curso II																							
10º	Estágio Supervisionado																		✓					
OPTATIVAS	Argilas Industriais												✓											✓
	Biomateriais						✓																	
	Biopolímeros e Materiais Nanoestruturados Poliméricos																							
	Controle Estatístico de Processos																							
	Caracterização de Materiais I																							
	Caracterização de Materiais II																							
	Caracterização de Materiais III																							
	Coloides, Superfície e Interfaces																				✓			
	Comunicação e Expressão																							
	Corrosão de Materiais	✓												✓										
	Ergonomia	✓						✓						✓		✓								✓
	Falha Prematura de Polímeros															✓					✓			✓
	Filosofia																				✓			
	Fundição	✓						✓														✓		
	Intr. ao Equilíbrio de Fases em Materiais Cerâmicos																							
	LIBRAS																							
	Metalurgia Extrativista																							
	Metalurgia da Soldagem																					✓		
	Nanotecnologia																					✓		
	Propriedade Intelectual													✓										
	Prop. Ópticas, Elétrica e Mecânica dos Materiais																		✓					

PERÍ-ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI-DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q* 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
	Psicologia Social	✓													✓						✓			
	Reciclagem de Materiais	✓	✓			✓		✓						✓		✓								
	Refratários Cerâmicos																							
	Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade	✓													✓						✓			
	Técnicas de Caracterização dos Metais																							
	Tecnologia de Elastômeros e Termofixos													✓					✓					
	Tecnologia do Vidro													✓							✓	✓		✓
	Tópicos Especiais em Engenharia de Materiais																							✓
	Tratamento Térmico e Termoquímicos																					✓		

*Questão. Q01. Ementa/conteúdos relacionados às questões ambientais, sociais e/ou econômicas? Q02. Incorporação da sustentabilidade no conteúdo programático das disciplinas? Q03. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Q04. Economia circular/ecodesign/logística reversa? - Q05. Educação/gestão ambiental? Q06. Química verde? Q07. Discussão dos impactos ambientais/sociais/econômicos? Q08. As ementas/conteúdo programático/referências bibliográficas das disciplinas do curso preveem a discussão ambiental de uma forma transdisciplinar? Ou a discussão fica restrita à disciplina específica do curso (Ciências do Ambiente)? Q09. Estudo das normas baseadas no PVC? Q10. Ciclo de vida de produtos/processos/serviços? Q11. Responsabilidade Socioambiental Corporativa (RSAC). Q12. Estudos de casos reais em colaboração com empresas ou outras organizações? Q13. Ferramentas relacionadas ao ciclo de vida (ACV, ACVO, CCV, ACVS, economia circular/ ecodesign/logística reversa)? Q14.Uuso de softwares e banco de dados específicos associados ao PCV? Q15. ACV básica, com uso de planilhas do *Excel* como ferramenta para avaliar os impactos ambientais/econômicos/sociais? Q16. Os estudos de casos com o uso da ACV aliam a teoria e a prática? Q17. Abordagens relacionadas ao ciclo de vida no desenvolvimento de projetos? Q18. Práticas em laboratórios, visitas técnicas ou estágios? Q19. Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) em projetos? Q20. Desenvolvimento de habilidades, tais como, pensamento sistêmico, pensamento crítico, ética, colaboração/trabalho em equipe, resolução e antecipação de problemas, comunicação e tomada de decisão? Q21. Metodologias ativas? Q22. Palestras/workshops que abordem à ideia do PCV? Q23. Estudos de casos e atividades de solução de problemas? Observação: as questões foram resumidas para facilitar a leitura (ver redação completa no Roteiro – Quadro 5).

Fonte: Elaborado pelas autoras.

APÊNDICE B – Mapeamento dos planos de disciplina do curso de Engenharia de Produção para identificação dos elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida

PERÍODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILIDADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q* 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
1º	Introdução à Engenharia de Produção																							✓
	Desenho Técnico																							
	Algoritmos e Programação																							
	Cálculo Diferencial e Integral I																							
	Introdução à Metodologia Científica																							
	Química Geral e Tecnológica																							
2º	Tópicos em Engenharia de Produção													✓		✓			✓			✓		✓
	Representação Gráfica																							
	Física I																							
	Cálculo Diferencial e Integral II																							
	Álgebra Linear																							✓
	Engenharia e Ciência dos Materiais																							✓
3º	Física II																							
	Física Experimental I																		✓					
	Mecânica Geral I																							
	Cálculo Diferencial e Integral III																							
	Administração e Organização																							
	Introdução à Economia	✓																			✓			
4º	Engenharia de Métodos	✓												✓					✓					
	Física III																							
	Equações Diferenciais e Ordinárias																							
	Probabilidade e Estatística I																							
	Métodos Numéricos																							✓
	Processos de Fabricação e Sistemas Mecânicos																							
5º	Contabilidade e Custos																							
	Gestão da Qualidade													✓		✓					✓			

PERÍ-ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI-DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q* 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
	Processos Químicos																							
	Organização do Trabalho e Sistemas													✓										
	Pesquisa Operacional I																							
	Eletricidade Básica																				✓			✓
	Probabilidade e Estatística II																							
6º	Ergonomia	✓						✓						✓		✓								✓
	Controle Estatístico da Qualidade													✓		✓								
	Fundamentos Termodinâmicos																							
	Engenharia Econômica e Finanças I	✓												✓		✓								✓
	Pesquisa Operacional II																							
	Gestão da Manutenção	✓												✓		✓								
	Laboratório de Eletricidade																							
7º	Projeto do Produto e do Processo	✓									✓			✓		✓				✓				✓
	Planejamento e Controle da Produção I	✓												✓		✓								
	Mecânica dos Fluidos																							
	Engenharia Econômica e Finanças IÎ																							
	Instituições do Direito																							
	Sistemas de Informações Gerenciais																							
8º	Gestão de Projetos	✓												✓		✓								
	Planejamento e Controle da Produção II	✓												✓		✓			✓		✓	✓		✓
	Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho	✓						✓						✓		✓								
	Estratégia Empresarial													✓										✓
	Automação	✓												✓							✓			
	Logística e Cadeia de Suprimentos	✓			✓									✓		✓			✓		✓			✓
9º	Trabalho de Conclusão de Curso I																							
	Projeto de Instalações	✓																						
	Ciências do Ambiente	✓				✓		✓	✓					✓		✓								✓
10º	Trabalho de Conclusão de Curso II																							

PERÍ-ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI-DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q* 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
	Estágio Supervisionado																							
OPTATIVAS	Conforto Ambiental																							
	Gestão de Serviços																							
	Gestão de Custos Logísticos																							
	Inovação e Empreendedorismo																							
	Planejamento de Experimentos																							
	Bioenergia e Biomassa																							
	Marketing																							
	Gestão de Operações em Serviços																							
	Engenharia, Ética e Sociedade	✓												✓										
	Gerenciamento de Sistemas da Qualidade																							
	Processo Decisório																							
	Introdução à Manufatura Mecânica																							
	Téc. de Gerenciamento de Operações Industriais																							
	Projeto Integrado de Sistemas de Produção																							
	Gestão da Tecnologia da Informação																							
	Estágio Supervisionado II																							
	Administração e Produção I																							
	Administração e Produção II																							
	Administração de Projetos																							
	Adm. de Recursos Materiais e Patrimoniais I																							
	Adm. de Recursos Materiais e Patrimoniais II																							
	Administração de Recursos Humanos I																							
	Comunicação e Expressão																							
	Organização, Sistemas e Métodos I																							
	Organização, Sistemas e Métodos II																							
	Mercado Financeiro e de Capitais																							
	LIBRAS																							

PERÍ-ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI-DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q* 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
	Princípios de Metrologia Industrial																							
	Mecânica II																							
	Inglês Instrumental																				✓			
	Propriedade Intelectual																				✓			
	Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade	✓												✓							✓			
	Álgebra Linear II																							
	Física Geral IV																							
	Resistência dos Materiais I																							

*Questão. Q01. Ementa/conteúdos relacionados às questões ambientais, sociais e/ou econômicas? Q02. Incorporação da sustentabilidade no conteúdo programático das disciplinas? Q03. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Q04. Economia circular/ecodesign/logística reversa? - Q05. Educação/gestão ambiental? Q06. Química verde? Q07. Discussão dos impactos ambientais/sociais/econômicos? Q08. As ementas/conteúdo programático/referências bibliográficas das disciplinas do curso preveem a discussão ambiental de uma forma transdisciplinar? Ou a discussão fica restrita à disciplina específica do curso (Ciências do Ambiente)? Q09. Estudo das normas baseadas no PVC? Q10. Ciclo de vida de produtos/processos/serviços? Q11. Responsabilidade Socioambiental Corporativa (RSAC). Q12. Estudos de casos reais em colaboração com empresas ou outras organizações? Q13. Ferramentas relacionadas ao ciclo de vida (ACV, ACVO, CCV, ACVS, economia circular/ ecodesign/logística reversa)? Q14.Uuso de softwares e banco de dados específicos associados ao PCV? Q15. ACV básica, com uso de planilhas do *Excel* como ferramenta para avaliar os impactos ambientais/econômicos/sociais? Q16. Os estudos de casos com o uso da ACV aliam a teoria e a prática? Q17. Abordagens relacionadas ao ciclo de vida no desenvolvimento de projetos? Q18. Práticas em laboratórios, visitas técnicas ou estágios? Q19. Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) em projetos? Q20. Desenvolvimento de habilidades, tais como, pensamento sistêmico, pensamento crítico, ética, colaboração/trabalho em equipe, resolução e antecipação de problemas, comunicação e tomada de decisão? Q21. Metodologias ativas? Q22. Palestras/workshops que abordem à ideia do PCV? Q23. Estudos de casos e atividades de solução de problemas? Observação: as questões foram resumidas para facilitar a leitura (ver redação completa no Roteiro – Quadro 5).
Fonte: Elaborado pelas autoras.

APÊNDICE C – Mapeamento dos planos de disciplina do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura para identificação dos elementos associados ao Pensamento do Ciclo de Vida

PERÍ - ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI- DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
1º	Introdução a Metodologia Científica																							
	Cálculo Diferencial e Integral I																							
	Desenho Técnico																							
	Álgebra Linear e Geometria Analítica																							
	Int. ao Curso de Eng. Cartográfica e de Agrimensura																							
	Ciências do Ambiente	✓	✓			✓		✓	✓					✓		✓								
2º	Mecânica dos Sólidos																							
	Cálculo Diferencial e Integral II																							
	CAD - Desenho Assistido por Computador																							
	Programação de Computadores																							
	Topografia I																							
3º	Física Geral I																							
	Cálculo Numérico T																							
	Probabilidade e Estatística T															✓					✓			
	Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania	✓						✓						✓		✓								
	Topografia II																							
4º	Física Geral IV																							
	Resistência dos Materiais A																							
	Transportes	✓						✓						✓		✓								
	Ajustamento de Observações																							
	Astronomia de Posição																							
	Elementos de Economia	✓												✓										
5º	Fundamentos de Geologia e Geoquímica	✓														✓								

PERÍ - ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI-DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
	Administração e Organização de Empresas													✓		✓					✓			
	Fotogrametria I																							
	Geodésia I					✓																		
	Topografia III																							
	Hidrologia	✓																						
6º	Mecânica dos Solos A																		✓					
	Cartografia Geral																							
	Processamento Digital de Imagens																							
	Geodésia II																							
	Agrimensura Aplicada																							
	Saneamento Básico	✓														✓								
7º	Parcelamento Territorial	✓														✓								
	Cartografia Digital, Topográfica e Temática																							
	Sensoriamento Remoto																							
	Projeto e Análise de Redes Geodésicas																							
	Levantamentos Especiais																							
	Locações Especiais e Batimetria																							
8º	Projeto de Estradas	✓						✓								✓								
	Pavimentação Engenharia	✓						✓						✓		✓								
	Sistema de Informação Geográfica																							
	Fotointerpretação																							
	Cadastro Territorial																							
9º	Avaliações e Perícias																							
	Higiene e Segurança do Trabalho							✓						✓										
	Direito e Legislação de Terra							✓																

PERÍ - ODOS	DISCIPLINAS	CONTEÚDOS											PRÁTICAS								HABILI-DADES	METODOLOGIAS DE ENSINO		
		Q 01	Q 02	Q 03	Q 04	Q 05	Q 06	Q 07	Q 08	Q 09	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14	Q 15	Q 16	Q 17	Q 18	Q 19	Q20	Q21	Q22	Q23
	Trabalho de Conclusão de Curso I																							
10º	Trabalho de Conclusão de Curso II																				✓			
	Estágio Supervisionado																							
OPTATIVAS	Astronomia Aplicada																							
	Construção Civil e Materiais																							
	Engenharia de Tráfego	✓																	✓					
	Equipamento de Construção															✓								
	Fenômenos de Transporte																							
	Física Geral II T																				✓			
	Fotogrametria II	✓																						
	Geometria Descritiva																							
	Hidráulica																							
	LIBRAS																							
	Obras de Terra	✓																						
	Química Geral																				✓			
	Projeto de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura																							
	Comunicação e Expressão																							
	Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade	✓												✓							✓			

*Questão. Q01. Ementa/conteúdos relacionados às questões ambientais, sociais e/ou econômicas? Q02. Incorporação da sustentabilidade no conteúdo programático das disciplinas? Q03. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Q04. Economia circular/ecodesign/logística reversa? - Q05. Educação/gestão ambiental? Q06. Química verde? Q07. Discussão dos impactos ambientais/sociais/econômicos? Q08. As ementas/conteúdo programático/referências bibliográficas das disciplinas do curso preveem a discussão ambiental de uma forma transdisciplinar? Ou a discussão fica restrita à disciplina específica do curso (Ciências do Ambiente)? Q09. Estudo das normas baseadas no PVC? Q10. Ciclo de vida de produtos/processos/serviços? Q11. Responsabilidade Socioambiental Corporativa (RSAC). Q12. Estudos de casos reais em colaboração com empresas ou outras organizações? Q13. Ferramentas relacionadas ao ciclo de vida (ACV, ACVO, CCV, ACVS, economia circular/ ecodesign/logística reversa)? Q14.Uuso de softwares e banco de dados específicos associados ao PCV? Q15. ACV básica, com uso de planilhas do *Excel* como ferramenta para avaliar os impactos ambientais/econômicos/sociais? Q16. Os

estudos de casos com o uso da ACV aliam a teoria e a prática? Q17. Abordagens relacionadas ao ciclo de vida no desenvolvimento de projetos? Q18. Práticas em laboratórios, visitas técnicas ou estágios? Q19. Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) em projetos? Q20. Desenvolvimento de habilidades, tais como, pensamento sistêmico, pensamento crítico, ética, colaboração/trabalho em equipe, resolução e antecipação de problemas, comunicação e tomada de decisão? Q21. Metodologias ativas? Q22. Palestras/workshops que abordem à ideia do PCV? Q23. Estudos de casos e atividades de solução de problemas? Observação: as questões foram resumidas para facilitar a leitura (ver redação completa no Roteiro – Quadro 5).
FONTE: Elaborado pelas autoras.

APÊNDICE D – Manual didático sobre o Pensamento do Ciclo de Vida

O Pensamento do Ciclo de Vida

Anárya Rocha

Nathalie Barbosa

Elaine Silva

2024

APRESENTAÇÃO

Prezados Educadores,

É com grande satisfação que apresentamos este manual didático sobre o Pensamento do Ciclo de Vida, um guia didático destinado a enriquecer o ensino e a aprendizagem nas instituições educacionais. Este material foi elaborado com o intuito de fornecer uma base fundamentada para a compreensão da perspectiva do Pensamento do Ciclo de Vida.

O Pensamento do Ciclo de Vida é uma abordagem que nos permite avaliar e compreender os impactos ambientais, sociais e econômicos de um produto, serviço ou processo desde a sua concepção até o seu descarte. Este conceito é fundamental para o desenvolvimento de práticas sustentáveis e para a formação de cidadãos conscientes e responsáveis.

Neste manual didático, você encontrará orientações conceituais e materiais de aprofundamento para melhorar a compreensão sobre a abordagem do PCV, visando enriquecer sua prática docente. Além disso, por meio dos processos de ensino e aprendizagem, busca-se inspirar e capacitar os alunos a pensarem criticamente sobre suas escolhas e os impactos dessas escolhas no meio ambiente, na economia e na sociedade.

A INTERCONEXÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS

A interconexão dos aspectos ambientais, sociais e econômicos é um tema central para o desenvolvimento sustentável e para a formulação de políticas públicas eficazes. Este conceito, frequentemente descrito como a "*sustentabilidade tripla*" ou "*triple bottom line*," reconhece que o verdadeiro progresso deve equilibrar e integrar esses três pilares fundamentais para garantir o bem-estar das gerações presentes e futuras.

Aspectos Ambientais

O componente ambiental diz respeito à preservação dos ecossistemas, à biodiversidade, ao uso sustentável dos recursos naturais e à mitigação das mudanças climáticas. A degradação ambiental, como a poluição, o desmatamento e a perda de biodiversidade, tem consequências diretas e indiretas para a sociedade e a economia. Por exemplo, a poluição do ar pode causar problemas de saúde pública, aumentando os custos com cuidados de saúde e diminuindo a produtividade da força de trabalho. A perda de serviços ecossistêmicos, como a polinização e a purificação da água, também pode afetar negativamente a agricultura e outros setores econômicos.

Aspectos Sociais

Os aspectos sociais envolvem a equidade, a justiça social, os direitos humanos e a qualidade de vida. A sustentabilidade social exige que todas as pessoas tenham acesso a oportunidades, recursos e serviços essenciais, como educação, saúde e moradia digna. Desigualdades sociais e econômicas extremas não só são moralmente questionáveis, mas também minam a coesão social e a estabilidade econômica. Comunidades marginalizadas, frequentemente mais vulneráveis aos impactos ambientais adversos, como desastres naturais exacerbados pelas mudanças climáticas, são um exemplo claro dessa interconexão. Políticas que promovem a inclusão social e a justiça ambiental são, portanto, essenciais.

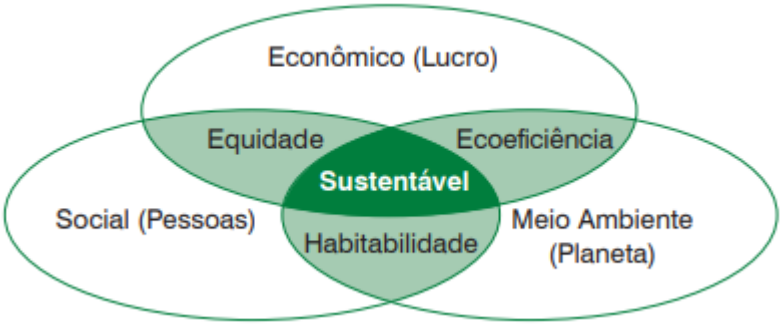
Aspectos Econômicos

O pilar econômico envolve a geração de valor econômico e o uso eficiente dos recursos para promover o bem-estar geral. No entanto, o crescimento econômico tradicional, focado unicamente no aumento do PIB, frequentemente ignora os custos ambientais e sociais. A economia sustentável propõe um modelo de desenvolvimento que internaliza esses custos e valoriza o capital natural e humano. Investimentos em tecnologias limpas, energias renováveis e práticas empresariais responsáveis não só são necessários para reduzir a pegada ecológica, mas também podem gerar novas oportunidades econômicas e de emprego. Além disso, uma economia que promove a equidade e a inclusão é mais resiliente e adaptável às mudanças.

A Interconexão dos Aspectos

A interconexão desses três aspectos gera um cenário complexo em que ações em uma área repercutem nas outras. Por exemplo, políticas voltadas ao crescimento econômico que negligenciam a sustentabilidade ambiental podem resultar em degradação, prejudicando a economia e o bem-estar social a longo prazo. Assim, a chave para uma política eficaz está em uma abordagem sistêmica e integrada, que considera os impactos e as sinergias entre esses pilares.

Figura 1. Dimensões da sustentabilidade



Fonte: UNEP; SETAC (2007)

Para aprofundar:

- Unep (2007): https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7894/DTI0889PA.pdf?sequence=3&amp%3BisAllowed=

Além das escolhas: reflexões sobre o Ciclo de Vida

Ao fazer escolhas cotidianas, muitas vezes subestimamos a variedade de decisões que tomamos. Seja optar por fazer compras no supermercado ou na feira de produtos orgânicos, decidir entre levar os resíduos para reciclagem ou descartá-los no lixo comum, escolher entre produtos de limpeza naturais e biodegradáveis ou produtos químicos convencionais, ou ainda decidir entre o produto mais barato e aquele com maior durabilidade, estamos constantemente enfrentando dilemas.

Cada item que adquirimos tem uma jornada, desde a extração da matéria-prima até sua produção, distribuição, uso e eventual descarte. Considerando isso, o que devemos ponderar ao escolher um produto? Apenas o preço e a qualidade são suficientes? E quanto à durabilidade? A empresa responsável pela fabricação adota práticas socialmente responsáveis? O processo de produção é sustentável?

Compreender todos os aspectos envolvidos no ciclo de vida de um produto pode ter um impacto positivo em nossas escolhas. Equilibrar nossas necessidades individuais com o impacto que causamos no meio ambiente e na sociedade é essencial. Refletir sobre essas questões pode transformar nossa maneira de consumir, nos tornando cidadãos mais conscientes e assumindo um papel ativo frente à coletividade.

Assim, o Pensamento de Ciclo de Vida (PCV) está intimamente ligado à reflexão sobre as escolhas de consumo mencionadas anteriormente. Ele nos fornece informações fundamentadas para compreender os impactos associados ao ciclo de vida dos produtos/processos/serviços, capacitando-nos a tomar decisões mais coerentes.

O Pensamento do Ciclo de Vida (PCV): uma abordagem sistêmica

O PCV é uma abordagem sistêmica (visão completa de múltiplos elementos com suas diversas inter-relações) para avaliar os impactos ambientais associados a um produto, processo ou serviço ao longo de todas as etapas de seu ciclo de vida. Várias etapas são consideradas para essa avaliação. Abaixo, segue uma descrição detalhada das principais etapas que compreende cada um:

Produto:

- Extração: o ciclo de vida de um produto começa com a extração de matéria-prima, isto é, de um recurso natural na Terra. Pode envolver mineração, agricultura, desmatamento, entre outros.
- Produção: esta etapa abrange o processo de transformação das matérias-primas em produtos acabados. Inclui operações de fabricação, montagem e embalagem.
- Distribuição: refere-se à logística associada ao transporte do produto acabado desde a fábrica até o consumidor final. Isso pode incluir transporte terrestre, marítimo, aéreo, entre outros.

Figura 2. Infográfico do ciclo de vida do produto



Fonte: Fundação Espaço Eco (2024)

- Uso: esta fase considera como o produto é utilizado pelo consumidor final. Isso pode incluir a energia consumida durante o uso, manutenção, reparos e até mesmo a durabilidade do produto.
- Destinação final: engloba o fim da vida útil do produto e, eventualmente, o produto ainda pode ser reinserido ao ciclo através dos processos de manutenção, reuso e reciclagem.

Processos:

- Concepção: definida pela fase inicial em que os objetivos do processo são identificados, os recursos são determinados e os responsáveis são designados.
- Planejamento: os detalhes específicos do processo são planejados. Isso pode incluir a elaboração de um plano de projeto, a definição de marcos, a alocação de recursos e a definição de prazos.
- Execução: as atividades delineadas no plano são realizadas, e os recursos são utilizados para atingir os objetivos do processo.
- Finalização: o processo é concluído conforme os objetivos estabelecidos são alcançados. Nessa etapa pode incluir, por exemplo, o tratamento de resíduos e restauração do local.

Serviços:

- Planejamento: inclui a definição dos objetivos do serviço, identificação de recursos necessários e desenvolvimento de estratégias para sua prestação.
- Prestação de serviços: Refere-se à entrega efetiva do serviço aos clientes, incluindo interações com clientes, uso de recursos e execução de atividades necessárias.
- Avaliação: envolve a análise do desempenho do serviço em termos de eficiência, qualidade, satisfação do cliente, impactos ambientais, sociais e econômicos.
- Melhoria: busca identificar oportunidades de melhoria no serviço, seja por meio de feedback dos clientes, novas tecnologias ou melhores práticas.
- Finalização: engloba o encerramento do serviço, incluindo o desligamento de operações, liquidação de recursos e tratamento de quaisquer questões pendentes.

Em suma, uma abordagem mais crítica e coesa do ciclo de vida de produtos, processos e serviços exige não apenas a identificação de etapas, mas também uma análise detalhada dos impactos associados e um compromisso com a mitigação desses impactos negativos ao longo de todo o ciclo. A mensuração desses impactos pode ser feita utilizando ferramentas de Gestão do Ciclo de Vida e outras abordagens associadas à sustentabilidade.

Para aprofundar:

- Apostila: https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2016/03/Ibict_Curso-IntroACV_Apostila_dez15-1.pdf
- UNEP (2024): https://www.lifecycleinitiative.org/activities/what-is-life-cycle-thinking/
- IBICT (2024): https://acv.ibict.br/acv/pensamento-do-ciclo-de-vida/
- Curso: https://www.learnlifecycle.com/
- Cartilha: https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2016/07/Cartilha-Pensamento-do-Ciclo-de-vida-segunda-edi%C3%A7%C3%A3o.pdf

Como entender o PCV?

Entender o pensamento do ciclo de vida envolve uma análise abrangente de todas as fases pelas quais um produto passa, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Aqui estão algumas outras questões que podem ser consideradas para uma compreensão mais aprofundada:

Impacto Ambiental: Além de identificar os recursos utilizados, é importante avaliar o impacto ambiental de cada fase do ciclo de vida, incluindo emissões de gases de efeito estufa, poluição do ar, da água e do solo, perda de biodiversidade, entre outros.

Eficiência de Recursos: Como os recursos estão sendo utilizados em cada fase? Existe alguma oportunidade para otimizar o uso de recursos, reduzindo desperdícios e promovendo a eficiência energética e material?

Cadeia de Fornecimento: Quais são as condições de trabalho e os padrões de segurança em cada estágio da cadeia de fornecimento? Isso inclui não apenas os fornecedores diretos, mas também os fornecedores indiretos e subcontratados.

Aspectos Sociais: Além dos impactos na sociedade em geral, como as diferentes fases do ciclo de vida afetam as comunidades locais? Isso inclui questões como acesso a recursos naturais, empregos locais, saúde e bem-estar das comunidades afetadas.

Inovação e Melhoria Contínua: Como as descobertas e *insights* obtidos ao analisar o ciclo de vida podem informar a inovação e a melhoria contínua do produto? Isso pode envolver a introdução de novos materiais mais sustentáveis, processos de produção mais eficientes ou até mesmo modelos de negócio alternativos, como a economia circular.

Engajamento das Partes Interessadas: Como as partes interessadas estão envolvidas em todo o processo de análise e melhoria do ciclo de vida? Isso pode incluir colaboração com fornecedores, clientes, organizações não governamentais e comunidades locais para identificar e abordar questões-chave.

Transparência e Comunicação: Como as informações sobre o ciclo de vida do produto são comunicadas aos diferentes *stakeholders*, incluindo

consumidores, investidores e reguladores? A transparência é fundamental para construir confiança e promover a responsabilidade corporativa.

Agora, vamos analisar um exemplo das etapas do ciclo de vida da água engarrafada, para ilustrar como esses princípios são aplicados na prática e destacar os impactos associados a cada fase do processo.

CICLO DE VIDA DA ÁGUA ENGARRAFADA

O ciclo de vida da água engarrafada envolve várias etapas, desde a extração e produção até o descarte final da embalagem. Vamos analisar cada uma dessas etapas e os impactos associados:



- **Captação e Purificação:**
  - A água é retirada de fontes naturais de água potável. Esse processo pode afetar os ecossistemas locais, especialmente se a água for retirada em grandes volumes, causando escassez para outras formas de vida.
  - A água também pode ser retirada de fontes públicas.
  - A purificação da água consome energia, o que tem custos econômicos e impactos ambientais, especialmente se essa energia for proveniente de fontes não renováveis, contribuindo para as emissões de carbono.

Ex.: a Pepsi, admitiu em 2007 que a sua marca Aquafina, dos EUA, emprega água proveniente de reservatórios públicos. A Dasani, produzida pela Coca-Cola, tem a mesma origem.

- **Produção e Envase:**
  - Uso de petróleo na fabricação do plástico das garrafas (tampa, garrafa e rótulo).
  - Uso de energia durante o processo de produção, seja para fabricar o plástico ou engarrafar a água.
  - Impactos econômicos, com valor agregado ao produto para o consumidor.

- **Transporte:**
  - As garrafas de água são então distribuídas para pontos de venda, implicando transporte, armazenamento e logística, o que contribui para as emissões de carbono, contribuindo para a poluição atmosférica.

- Custos associados à infraestrutura de distribuição.

- **Uso e Reuso:**
  - O consumo da água engarrafada é geralmente rápido, mas há um uso significativo de recursos para embalar e distribuir a água, além de energia para refrigerá-la e mantê-la fresca.
  - Reuso da garrafa por algumas vezes.

- **Descarte:**
  - Pode ser descartada em lixões ou aterros sanitários, podendo levar anos para se degradarem completamente. Além de ocuparem espaço no solo e contribuindo para a contaminação do ambiente.
  - Incineração das garrafas, com liberação de CO_2 na atmosfera, contribuindo para a poluição atmosférica.
  - Ao reciclar garrafas, podemos reintroduzir a matéria-prima no ciclo produtivo, reduzindo a necessidade de recursos naturais e energia. Elas podem ser transformadas em novas garrafas ou em produtos de menor qualidade e valor econômico.

No caso específico da Naturágua e da Crystal, a comercialização de água em embalagens ditas eco sustentáveis ou biodegradáveis, sem a devida certificação, levanta questões sobre *greenwashing* ("lavagem verde" ou "maquiagem verde") e falsas promessas ambientais. A constatação de que essas embalagens são compostas por polímeros não biodegradáveis, e que ainda podem gerar microplásticos quando descartadas, revela uma prática enganosa e prejudicial ao meio ambiente.

Para aprofundar:

- Playlist sobre a "História das Coisas" (*Story of Stuff*): https://www.youtube.com/watch?v=9GorqroigqM&list=PL77CE8943362CB9B0

Abordagens e ferramentas que dão suporte à abordagem do PCV

1. Ecodesign

O Ecodesign, também conhecido como design sustentável ou design ecológico, é uma abordagem que integra considerações ambientais no processo de design e desenvolvimento de produtos, serviços e sistemas. O objetivo do Ecodesign é minimizar os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida do produto, desde a extração de matérias-primas até o descarte final, promovendo a sustentabilidade e a eficiência de recursos.

Princípios do Ecodesign:

- Redução de Materiais e Energia: Projetar produtos que utilizem menos materiais e energia durante a fabricação, transporte, uso e descarte. Isso pode incluir a escolha de materiais leves e eficientes em termos de energia, bem como processos de fabricação que reduzam o consumo de recursos.
- Escolha de Materiais Sustentáveis: Selecionar materiais que tenham menor impacto ambiental, como materiais reciclados, renováveis ou biodegradáveis. Também se considera a redução de substâncias tóxicas e nocivas.
- Durabilidade e Manutenção: Criar produtos que tenham uma vida útil prolongada e que sejam fáceis de reparar e manter. Isso ajuda a reduzir a necessidade de substituições frequentes e diminui a quantidade de resíduos gerados.
- Reutilização e Reciclagem: Facilitar a desmontagem dos produtos para que seus componentes possam ser reutilizados ou reciclados no final de sua vida útil. Isso inclui o design modular e a utilização de conexões não permanentes.
- Eficiência Energética: Desenvolver produtos que consomem menos energia durante o uso. Exemplos incluem eletrodomésticos com alta eficiência energética e veículos com baixo consumo de combustível.

- Minimização de Impactos Ambientais: Considerar os impactos ambientais durante todas as fases do ciclo de vida do produto, incluindo produção, distribuição, uso e descarte.

Exemplos de Ecodesign:

- Embalagens: Redução do uso de plástico, utilização de materiais recicláveis e design de embalagens reutilizáveis.
- Automóveis: Projeto de veículos com motores mais eficientes e utilização de materiais leves para reduzir o consumo de combustível e as emissões de CO2.

Portanto, o Ecodesign é uma abordagem importante para o desenvolvimento de produtos que atendem às necessidades dos consumidores enquanto minimizam os impactos ambientais.

Para aprofundar:

- Guelere-Filho, A.; Pigosso, D. C. A.; Rozenfeld, H.; Ometto, A. R. Ecodesign: métodos e ferramentas. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Rio de Janeiro, 2008.
- Riondet, L.; Rio, M.; Perrot-Bernardet, V.; Zwolinski, P. Towards ecodesign for upscaling: an illustrative case study on photovoltaic technology in France. Procedia CIRP, v. 122, p. 407–412, 2024.

2. ECONOMIA LINEAR X CIRCULAR

Economia Linear

A economia linear é um modelo tradicional de produção e consumo que segue uma linha direta: extração de recursos, produção, uso e descarte. Nesse sistema, os recursos são considerados abundantes e as externalidades ambientais muitas vezes são negligenciadas. Infelizmente, esse modelo tem consequências sérias para o nosso planeta, resultando em esgotamento de recursos naturais, poluição e aumento dos resíduos.

Figura 3. Modelo de economia linear



Fonte: https://www.raizen.com.br/blog/economia-circular

Economia Circular

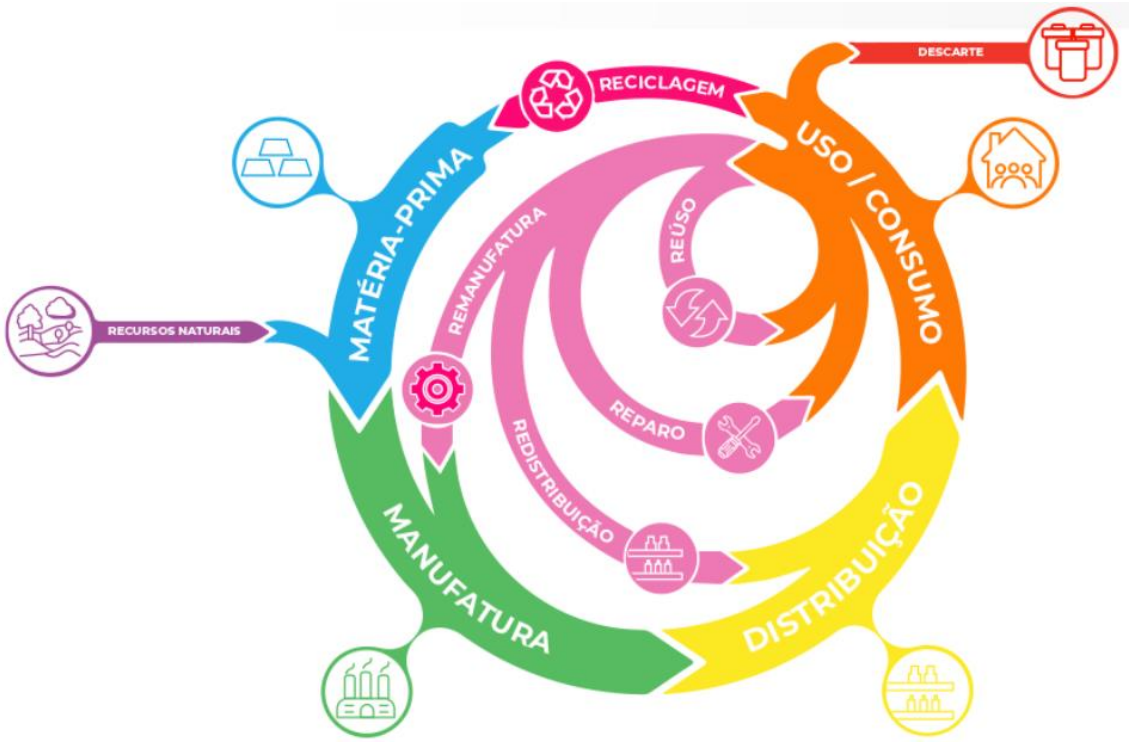
Por outro lado, a economia circular propõe uma abordagem mais sustentável. Neste modelo, os recursos são utilizados de forma mais eficiente e os resíduos são minimizados através da reutilização, recuperação e reciclagem. Em vez de seguir o ciclo linear de extração-produção-descarte, a economia circular promove um ciclo contínuo de uso, onde os produtos e materiais são mantidos em uso o máximo possível e, quando atingem o fim de sua vida útil, são reintegrados na cadeia produtiva.

Benefícios da Economia Circular:

- Redução do Desperdício: ao reutilizar e reciclar materiais, reduzimos a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários e incineradores, contribuindo para a preservação do meio ambiente.

- Conservação de Recursos: a economia circular minimiza a necessidade de extrair novos recursos naturais, preservando assim os recursos finitos do nosso planeta.
- Estímulo à Inovação: a transição para uma economia circular requer novas abordagens e tecnologias, incentivando a inovação e a criação de empregos em setores como reciclagem, remanufatura e design sustentável.

Figura 4. Modelo de economia circular



Fonte: https://www.raizen.com.br/blog/economia-circular

Rumo a um Futuro Sustentável:

A transição para uma economia circular não é apenas uma escolha, mas uma necessidade para garantir um futuro próspero e equitativo para as gerações futuras. Assim, o PCV contribui para a promoção da economia circular e para a transição para padrões sustentáveis de consumo e produção.

Para aprofundar:

- Ellen MacArthur Foundation (2024): https://www.ellenmacarthurfoundation.org/

3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), conhecida em inglês como "*Life Cycle Assessment*" (LCA), é uma metodologia sistemática para avaliar os impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço. Esta avaliação abrange desde a extração das matérias-primas, passando pela produção, distribuição, uso, até a disposição final. O objetivo da ACV é fornecer uma visão abrangente dos impactos ambientais para apoiar a tomada de decisões mais sustentáveis.

A ACV é composta por quatro fases principais:

- Definição do Objetivo e Escopo: Nesta fase, são estabelecidos os objetivos específicos da análise e o escopo do estudo. Isso inclui a definição dos limites do sistema, a escolha das categorias de impacto a serem avaliadas e a descrição dos processos envolvidos.
- Análise de Inventário: Esta etapa envolve a coleta de dados sobre todos os fluxos de entrada e saída (energia, materiais, emissões, resíduos) associados ao sistema em estudo. Esses dados são utilizados para construir um inventário detalhado dos recursos utilizados e dos resíduos gerados.
- Avaliação de Impacto: Com base no inventário, são avaliados os potenciais impactos ambientais. Isso inclui a quantificação dos efeitos sobre categorias de impacto como mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, toxicidade humana, entre outras.
- Interpretação dos Resultados: Os resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto são interpretados para fornecer informações úteis para a tomada de decisões. Nesta fase, são identificadas as principais fontes de impacto ambiental e são propostas recomendações para a redução desses impactos.

A ACV é utilizada em diversas indústrias e setores para promover a sustentabilidade ambiental. Ela oferece uma base científica para a comparação de produtos e processos, ajudando a identificar opções mais ecológicas e a desenvolver estratégias de melhoria ambiental. Por exemplo, na indústria de embalagens, a ACV pode ser usada para comparar os impactos ambientais de diferentes materiais (plástico, vidro, papel) e escolher a opção com menor impacto.

Além disso, é uma ferramenta fundamental para políticas públicas e regulamentações ambientais. Ela pode apoiar a elaboração de normas e diretrizes que promovam a produção e o consumo sustentáveis, bem como a implementação de programas de rotulagem ambiental.

Em resumo, a ACV é uma abordagem crítica para entender e mitigar os impactos ambientais de produtos e processos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Ao fornecer uma visão detalhada e holística dos impactos ambientais, a ACV facilita a tomada de decisões informadas e a promoção de práticas mais sustentáveis.

Para aprofundar:

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

4. CUSTEIO DO CICLO DE VIDA

O Custeio do Ciclo de Vida (CCV), conhecido como "*Life Cycle Costing*" (LCC), é uma abordagem de avaliação dos custos totais associados a um produto, sistema ou projeto ao longo de todo o seu ciclo de vida. Este método considera todas as fases, desde a concepção, desenvolvimento, produção e uso, até a disposição final. O objetivo do CCV é fornecer uma visão completa dos custos envolvidos, permitindo uma tomada de decisão mais informada e eficiente.

A implementação do CCV envolve a identificação e a quantificação de todos os custos relevantes, incluindo custos iniciais (como pesquisa e desenvolvimento, aquisição e instalação), custos operacionais (como manutenção, energia e mão de obra), e custos finais (como descarte ou reciclagem). Este enfoque permite avaliar não apenas o preço de compra, mas também os custos contínuos de operação e manutenção, que muitas vezes representam uma parte significativa dos gastos totais.

Uma das principais vantagens é a capacidade de identificar oportunidades para redução de custos ao longo do ciclo de vida, incentivando escolhas que podem ter um custo inicial mais elevado, mas que resultam em economias significativas a longo prazo. Por exemplo, a escolha de materiais de maior durabilidade pode reduzir os custos de manutenção e substituição.

Em resumo, o custeio do ciclo de vida proporciona uma visão holística dos custos associados a um produto ou projeto, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos. Essa abordagem permite que as empresas e organizações maximizem o valor dos seus investimentos, minimizando os custos totais ao longo do tempo.

Para aprofundar:

- Woodward, D. G. Life cycle costing — Theory, information, acquisition and application. International Journal of Project Management, v. 15, n. 6, p. 335–344, 1997. DOI 10.1016/s0263-7863(96)00089-0

5. AVALIAÇÃO SOCIAL DO CICLO DE VIDA

A Avaliação Social do Ciclo de Vida (*Social Life Cycle Assessment* - SLCA) é uma metodologia que visa avaliar os impactos sociais e socioeconômicos de um produto, processo ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida. Atenta-se a aspectos relacionados, por exemplo, a direitos humanos, condições de trabalho e herança cultural, dentre grupos como comunidade local, sociedade e consumidores.

Assim como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tradicional foca nos impactos ambientais, a SLCA se concentra nos aspectos sociais, abrangendo desde a extração das matérias-primas até a disposição final.

Componentes Principais da ACV Social:

- Definição do Objetivo e Escopo: Nesta fase, é estabelecido o propósito da análise e o escopo do estudo. Isso inclui a identificação das partes interessadas (*stakeholders*) relevantes, como trabalhadores, comunidades locais, consumidores, e sociedade em geral, bem como a descrição das categorias de impacto social a serem avaliadas.
- Inventário do Ciclo de Vida Social: Envolve a coleta de dados qualitativos e quantitativos sobre as condições sociais e econômicas associadas aos diferentes estágios do ciclo de vida do produto. Isso pode incluir informações sobre salários, condições de trabalho, direitos humanos, impacto nas comunidades locais, saúde e segurança, e bem-estar dos trabalhadores.
- Avaliação de Impacto Social: Nesta etapa, os dados coletados são analisados para avaliar os impactos sociais. São utilizadas várias categorias de impacto, como direitos humanos, condições de trabalho, desenvolvimento socioeconômico, saúde e segurança, e influência cultural. Ferramentas específicas e métodos de avaliação são aplicados para quantificar e qualificar esses impactos.
- Interpretação dos Resultados: Os resultados da análise são interpretados para identificar áreas críticas e propor melhorias. Nesta fase, são destacadas as práticas que causam impactos negativos significativos e são sugeridas ações para mitigar esses impactos e promover práticas mais sustentáveis e socialmente responsáveis.

Exemplos de Aplicação:

- Avaliar as condições de trabalho e os direitos dos trabalhadores em toda a cadeia de suprimentos, desde a produção de fibras até a confecção de roupas.
- Analisar os impactos sociais da produção agrícola, incluindo o bem-estar dos trabalhadores rurais e o efeito nas comunidades locais.
- Examinar as condições de trabalho nas fábricas de eletrônicos e o impacto do descarte de produtos eletrônicos em comunidades locais.

Para aprofundar:

- Benoît, C.; Mazijn, B. Guidelines for social life cycle assessment of products. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, Druk in de weer, Belgium, 2009.
- Hosseinijou, S. A.; Mansour, S.; Shirazi, M. A. Social life cycle assessment for material selection: a case study of building materials. Int J Life Cycle Assess, v.19, p. 620–645,2014. DOI 10.1007/s11367-013-0658-1
- Ostos, L. M. L.; Roche, L.; Coroama, V.; Finkbeiner, M. Social life cycle assessment in the chocolate industry: A Colombian case study with Luker Chocolate. The International Journal of Life Cycle Assessment, v.29, p. 929–951, 2024. DOI 10.1007/s11367-023-02261-y

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

BENOÎT, C.; MAZIJN, B. Guidelines for social life cycle assessment of products. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, Druk in de weer, Belgium, 2009.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. 2024. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/. Acesso em: 31 maio 2024.

GUELERE-FILHO, A.; PIGOSSO, D. C. A.; ROZENFELD, H.; OMETTO, A. R. Ecodesign: métodos e ferramentas. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Rio de Janeiro, 2008.

HOSSEINIJOU, S. A.; MANSOUR, S.; SHIRAZI, M. A. Social life cycle assessment for material selection: a case study of building materials. Int J Life Cycle Assess, v.19, p. 620–645,2014. DOI 10.1007/s11367-013-0658-1

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). Pensamento do Ciclo de Vida. 2024. Disponível em: https://acv.ibict.br/acv/pensamento-do-ciclo-de-vida/. Acesso em: 31 maio 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). O Pensamento do Ciclo de Vida: uma história de descobertas. 2 ed. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia- Ibict, Brasília, p.56, 2016. Disponível emhttps://acv.ibict.br/documentos/publicacoes/1173-o-pensamento-do-ciclo-de-vida-uma-historia-de-descobertas-2/. Acesso em: 31 maio 2023.

LEARN LIFE CYCLE. Curso de Pensamento do Ciclo de Vida. Disponível em: https://www.learnlifecycle.com/. Acesso em: 31 maio 2024

OSTOS, L. M. L.; ROCHE, L.; COROAMA, V.; FINKBEINER, M. Social life cycle assessment in the chocolate industry: A Colombian case study with Luker

Chocolate. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v.29, p. 929–951, 2024. DOI 10.1007/s11367-023-02261-y

RIONDET, L.; RIO, M.; PERROT-BERNADET, V.; ZWOLINSKI, P. Towards ecodesign for upscaling: an illustrative case study on photovoltaic technology in France. *Procedia CIRP*, v. 122, p. 407–412, 2024.

RODRIGUES, T. O. Curso de curta duração: Introdução à metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida – ACV. ACV/IBICT, 2016. Disponível em: <https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2016/03/Ibict_ Curso-IntroACV_Apostila_dez15-1.pdf>. Acesso em: 31 maio 2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Greening the Economy through Life Cycle Thinking and Ten Years of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Life Cycle Management: A Business Guide to Sustainability. Paris: UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2007.

United Nations Environment Programme (UNEP). What is Life Cycle Thinking? 2024. Disponível em: https://www.lifecycleinitiative.org/activities/what-is-life-cycle-thinking/. Acesso em: 31 maio 2024.

WOODWARD, D. G. Life cycle costing — Theory, information, acquisition and application. *International Journal of Project Management*, v. 15, n. 6, p. 335–344, 1997. DOI 10.1016/s0263-7863(96)00089-0

YOUTUBE. História das Coisas (Story of Stuff) [Playlist]. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=9GorqroigqM&list=PL77CE8943362CB9B0. Acesso em: 31 maio 2024.

APÊNDICE E – Ciclo de Vida de Materiais Poliméricos

DISCIPLINA/CURSO:

- Materiais Poliméricos, Ciência dos Materiais (I e II), Processamento dos Materiais Poliméricos (Engenharia de Materiais)
- Engenharia e Ciência dos Materiais (Engenharia de Produção)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Identificar os diferentes tipos de materiais poliméricos (termoplásticos, termorrígidos e elastômeros) (Nível 01 – Lembrar);
- Descrever o conceito de ciclo de vida e explicar as etapas envolvidas no ciclo de vida de um produto polimérico (Nível 02 – Compreender);
- Selecionar um produto feito de material polimérico e elaborar um infográfico que represente as etapas do ciclo de vida, incluindo a extração de matérias-primas, a produção, a distribuição, o uso e o descarte (Nível 03 – Aplicar);
- Identificar os impactos ambientais, sociais e econômicos associados a cada etapa do ciclo de vida do produto escolhido (Nível 04 – Analisar);
- Sugerir possíveis soluções para minimizar os impactos ao longo do ciclo de vida do produto, com base nos princípios da engenharia verde (Nível 05 – Avaliar);

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Descrever os diferentes tipos de materiais poliméricos e suas características.
- Estabelecer a importância de compreender o ciclo de vida dos materiais poliméricos para avaliar seus impactos e propor soluções sustentáveis.
- Explicar o conceito de ciclo de vida dos materiais poliméricos, descrevendo suas etapas principais (extração de matérias-primas, produção, distribuição, uso, descarte, reuso/reciclagem).

Estudo de caso:

- Solicitar aos alunos que escolham um produto feito de material polimérico para realizar um estudo de caso.
- Orientar os alunos a pesquisarem sobre as etapas do ciclo de vida desse produto e a elaborarem um infográfico que represente visualmente as etapas, incluindo os impactos identificados e sugerirem possíveis soluções para minimizar os impactos.
- Orientar que os produtos devem ser diferentes para cada grupo.

Discussão em grupo:

- Promover uma discussão em grupo sobre os produtos escolhidos pelos alunos, compartilhando os infográficos e estimulando a reflexão crítica sobre as possíveis soluções que foram sugeridas.

Avaliação:

- Construção do infográfico: analisar a clareza, organização e qualidade das informações apresentadas.
- Participação dos alunos durante a discussão em grupo, observando sua capacidade de compartilhar ideias e argumentar de forma fundamentada.

APÊNDICE F – Produtos ergonomicamente adequados

DISCIPLINA/CURSO:

- Ergonomia (Engenharia de Materiais e Engenharia de Produção)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Relembrar os conceitos básicos da ergonomia e os princípios de *design* ergonômico (Nível 01 – Lembrar)
- Reconhecer os benefícios ergonômicos para o aumento da produtividade e do bem-estar dos trabalhadores (Nível 02 – Compreender).
- Selecionar um produto de trabalho e sugerir possíveis melhorias ergonômicas (Nível 3 – Aplicar; Nível 04 - Analisar).
- Avaliar as melhorias ergonômicas propostas e justificar seus benefícios para a empresa e para os trabalhadores (Nível 05 – Avaliar).
- Elaborar um panfleto de vendas para o produto escolhido, destacando os benefícios ergonômicos (Nível 06 – Criar).

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Conceitos básicos da ergonomia, princípios de *design* ergonômico e importância da abordagem de custo-benefício.

Discussão em grupo:

- Os alunos serão divididos em grupos e orientados a escolher um produto de trabalho para projetá-lo ergonomicamente, levando em consideração a pergunta norteadora: "De que forma um determinado produto de trabalho poderia ser projetado ergonomicamente, permitindo economia de recursos, aumento de produtividade e menor desgaste físico e mental dos trabalhadores?"

Pesquisa e análise:

- Os grupos realizarão pesquisas sobre o produto escolhido, considerando aspectos ergonômicos, produtividade e economia de recursos. Eles devem identificar sugerir possíveis melhorias e justificar os benefícios esperados.

Elaboração do panfleto de vendas:

- Cada grupo elaborará um panfleto de vendas para o produto escolhido, destacando os benefícios ergonômicos para a empresa e para os trabalhadores. O panfleto deve ser criativo, informativo e persuasivo.

Apresentação dos resultados:

- os grupos apresentarão seus panfletos de vendas para toda a turma, explicando suas soluções ergonômicas e os benefícios propostos.

Avaliação:

- Participação dos alunos nas discussões em grupo e na pesquisa.
- Qualidade do panfleto de vendas, incluindo clareza, criatividade e persuasão.
- Coerência das soluções ergonômicas propostas com os objetivos da aula.
- Capacidade de reflexão crítica e inovação demonstrada na apresentação dos resultados.

APÊNDICE G – Sistema de Gestão da Qualidade em empresas

DISCIPLINA/CURSO:

- Gestão da Qualidade (Engenharia de Materiais e Engenharia de Produção)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Listar os sete princípios do Sistema de Gestão da Qualidade (SQG) baseado na norma ISO 9001:2015 (Nível 01 – Lembrar).
- Explicar como empresas implementam o SGQ e aplicam os princípios em sua gestão da qualidade (Nível 02 – Compreender).
- Realizar uma pesquisa virtual em empresas que adotam o SGQ para identificar de que maneira é implementado baseado nos sete princípios da norma ISO 9001:2015 (Nível 03 – Aplicar).
- Analisar como o engenheiro de materiais ou de produção pode contribuir para melhorar a gestão da qualidade das empresas (Nível 04 – Analisar).
- Fazer uma análise comparativa entre as empresas pesquisadas, identificando pontos fortes, pontos fracos e diferenças em relação à gestão da qualidade e ao papel do engenheiro de materiais ou de produção (Nível 05 – Avaliar).

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Discutir os princípios do SGQ baseado na norma ISO 9001:2015.
- Estabelecer a importância da gestão da qualidade e do papel dos engenheiros de materiais e de produção para a garantia da qualidade dos produtos e da produção.
- Apresentar exemplos de empresas que adotam o SGQ e discutir como elas aplicam os princípios em sua gestão da qualidade.

Pesquisa e análise:

- Dividir a turma em grupos de até cinco pessoas.
- Atribuir a cada grupo uma empresa que adota o SGQ (por exemplo, Grupo Boticário, Suzano, Klabin ou Raízen) para realizar uma pesquisa virtual. Os grupos devem investigar como a empresa implementa o SGQ, levando em consideração os sete princípios, e analisar como o papel do engenheiro de materiais/produção poderia contribuir para melhorar a gestão da qualidade.

Discussão em grupo e análise comparativa:

- Promover uma discussão em grupo para que cada um compartilhe suas descobertas e análises. A apresentação pode ser feita em formato de seminário.
- Estimular a análise comparativa entre as empresas, identificando pontos fortes, pontos fracos e diferenças em relação à gestão da qualidade e ao papel do engenheiro de materiais/produção.

Avaliação:

- Participação durante a discussão em grupo.
- Qualidade da pesquisa, incluindo a fundamentação das informações coletadas.
- Qualidade dos recursos visuais utilizados (como *slides*).

APÊNDICE H – Produtos químicos perigosos e substituições sustentáveis

DISCIPLINA/CURSO:

- Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho (Engenharia de Materiais e Engenharia de Produção);
- Higiene e Segurança do Trabalho (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura).

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Identificar produtos químicos perigosos comuns encontrados em indústrias/empresas e suas classificações (Nível 01 – Lembrar).
- Compreender os riscos associados à exposição a produtos químicos perigosos e o impacto ambiental dos resíduos químicos gerados (Nível 02 – Compreender).
- Realizar visitas a indústrias/empresas para identificar produtos químicos perigosos, analisar suas características e riscos, e propor substituições sustentáveis (Nível 03 – Aplicar).
- Analisar os riscos e impactos dos produtos químicos identificados, e avaliar as alternativas propostas em termos de eficácia, segurança e sustentabilidade (Nível 04 – Analisar).
- Avaliar a viabilidade e a adequação das alternativas propostas, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais (Nível 05 – Avaliar).
- Elaborar um relatório final contendo a identificação dos produtos químicos perigosos, análise dos riscos e impactos, e sugestões de substituições sustentáveis (Nível 06 – Criar).

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Apresentar informações sobre produtos químicos perigosos comuns encontrados em indústrias/empresas, suas classificações e riscos associados.
- Estabelecer a relação entre saúde, segurança do trabalho e preservação ambiental.
- Discutir o impacto ambiental dos resíduos químicos gerados e a importância de buscar alternativas menos tóxicas e mais sustentáveis.

Visitas a indústrias/empresas

- Dividir a turma em grupos e agendar visitas a indústrias/empresas para identificar produtos químicos perigosos utilizados nos processos produtivos.
- Os grupos devem realizar um levantamento dos produtos químicos presentes, identificar suas características e riscos, e registrar as informações coletadas.
- Os grupos devem pesquisar e propor alternativas menos tóxicas e mais sustentáveis para substituir os produtos químicos identificados na atividade anterior.
- Devem considerar critérios como segurança dos trabalhadores, eficácia, custos, disponibilidade no mercado e impacto ambiental.
- Cada grupo deve elaborar um relatório com as propostas de substituições e justificar suas escolhas.

Discussão:

- Realizar uma discussão em grupo para compartilhar as experiências das visitas e dos relatórios elaborados pelos grupos.
- Estimular a análise crítica das propostas de substituições sustentáveis, considerando a viabilidade e a adequação das alternativas propostas.

Avaliação:

- Avaliação dos relatórios: Avaliar a qualidade dos relatórios elaborados pelos grupos, considerando a identificação correta dos produtos químicos perigosos, a análise dos riscos e a fundamentação das propostas de substituições sustentáveis.
- Participação nas visitas e nas discussões em grupo: Observar a participação ativa dos alunos durante as visitas às indústrias/empresas e nas discussões em grupo.
- Apresentação oral: Solicitar que os grupos apresentem suas propostas de substituições sustentáveis de forma oral, destacando as justificativas e os critérios utilizados. Avaliar a clareza da apresentação, a organização das informações e a capacidade de argumentação.

APÊNDICE I – Equipamentos de proteção individual e coletiva

DISCIPLINA/CURSO:

- Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho (Engenharia de Materiais e Engenharia de Produção)
- Higiene e Segurança do Trabalho (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Identificar os principais tipos de equipamentos de proteção individual e coletiva utilizados em ambientes de trabalho (Nível 01 – Lembrar)
- Compreender a importância da eficácia dos equipamentos de proteção, considerando a segurança dos trabalhadores, a eficácia do produto, os custos envolvidos na produção e outros fatores relevantes (Nível 02 – Compreender).
- Realizar uma avaliação dos equipamentos de proteção utilizados em um ambiente de trabalho específico, identificando pontos de melhoria (Nível 03 – Aplicar).
- Propor alternativas mais seguras e sustentáveis para os equipamentos de proteção dos trabalhadores, a eficácia, os custos e os impactos ambientais. (Nível 04 – Analisar).
- Avaliar a viabilidade e a adequação das alternativas propostas, considerando aspectos técnicos, econômicos, de segurança e sustentabilidade (Nível 05 – Avaliar).

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Conhecer os principais tipos de equipamentos de proteção individual e coletiva utilizados em ambientes de trabalho, suas características e finalidades.
- Discutir os critérios de avaliação dos equipamentos de proteção, como segurança, eficácia, conforto, durabilidade e impactos ambientais.

Avaliação dos equipamentos de proteção:

- Dividir a turma em grupos e atribuir a cada grupo um tipo específico de equipamento de proteção individual (por exemplo, óculos de proteção, luvas, máscaras respiratórias) e/ou de proteção coletiva (como barreiras de proteção, sistemas de exaustão, entre outros) utilizados em um ambiente de trabalho específico de uma empresa/indústria.
- Os grupos devem realizar uma avaliação dos equipamentos de proteção, considerando critérios como segurança, conforto, eficácia, durabilidade, custos, manutenção e impactos ambientais.
- Devem registrar as informações coletadas e identificar pontos de melhoria.
- Para complementar a análise dos equipamentos de proteção individuais e/ou coletivas, sugere-se que os estudantes realizem uma entrevista com o(a) responsável pela segurança do trabalho de uma indústria/empresa. Questões sugeridas para a entrevista:
    - Quais são os critérios para selecionar e avaliar os equipamentos de proteção individual e coletiva utilizados na indústria/empresa?
    - Como a indústria/empresa assegura a conformidade dos equipamentos de proteção com as normas de segurança e regulamentações aplicáveis?
    - Quais são os desafios mais comuns enfrentados ao tentar melhorar a segurança e a eficácia dos equipamentos de proteção?
    - Como a indústria/empresa equilibra a eficácia dos equipamentos de proteção com os custos associados à sua aquisição, manutenção e substituição?
    - Como a indústria/empresa considera fatores como conforto, durabilidade e impactos ambientais ao escolher seus equipamentos de proteção?
    - Quais processos estão em vigor para avaliar constantemente a eficácia e a qualidade dos equipamentos de proteção utilizados?

- Qual é o procedimento adotado para identificar e abordar pontos de melhoria nos equipamentos de proteção, com base no *feedback* dos funcionários?
- Existem casos em que alternativas mais seguras e sustentáveis foram consideradas na escolha dos equipamentos de proteção? Se sim, quais foram os resultados?
- Qual é o papel da equipe de segurança do trabalho na seleção de novos equipamentos de proteção?
- Como a empresa promove a conscientização e a educação dos trabalhadores sobre a importância da utilização adequada dos equipamentos de proteção?
- Já teve casos de acidentes na indústria/empresa relacionados aos equipamentos de proteção individuais e/ou coletivas? Se sim, quais os impactos negativos para a empresa? Quais as providências tomadas após o caso?

Discussão:

- Realizar uma discussão em grupo para compartilhar as experiências das avaliações realizadas pelos grupos.
- Estimular a análise crítica das avaliações dos equipamentos de proteção, considerando a eficácia, os custos, os impactos ambientais e outros fatores relevantes.
- Reforçar a importância da busca por alternativas mais seguras e sustentáveis na proteção dos trabalhadores.

Avaliação:

- Participação nas discussões em grupo e capacidade de argumentação.
- Avaliação dos resultados, considerando a avaliação dos equipamentos de proteção, a identificação dos pontos de melhoria e as propostas de alternativas mais seguras e sustentáveis.

APÊNDICE J – Corrosão de materiais metálicos e suas implicações ambientais, sociais e econômicas

DISCIPLINA/CURSO: Corrosão de Metais (Engenharia de Materiais)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Listar os diferentes tipos de materiais metálicos (Nível 01 – Lembrar).
- Identificar os principais tipos de corrosão que afetam os materiais metálicos (Nível 01 – Lembrar).
- Compreender as causas e os efeitos da corrosão, bem como as técnicas de proteção contra a corrosão (Nível 02 – Compreender).
- Selecionar materiais metálicos utilizados em aplicações industriais e realizar uma pesquisa sobre os tipos de corrosão, causas, efeitos e técnicas de proteção nesses materiais (Nível 03 – Aplicar).
- Analisar o ciclo de vida desses materiais, considerando o desempenho em relação à corrosão e os impactos ambientais, sociais e econômicos associados (Nível 04 – Analisar).
- Apresentar os resultados da pesquisa e análise do ciclo de vida, promovendo a discussão e a análise crítica em sala de aula (Nível 05 – Avaliar).

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Apresentar os diferentes tipos de materiais metálicos.
- Apresentar informações sobre os principais tipos de corrosão que afetam os materiais metálicos, suas causas e efeitos.
- Estabelecer a relação entre a corrosão, os impactos ambientais, sociais e econômicos, e a necessidade de técnicas de proteção adequadas.

Pesquisa e análise do ciclo de vida:

- Dividir a turma em grupos e atribuir a cada grupo um material metálico comumente usados em aplicações industriais.
- Os grupos devem realizar uma pesquisa sobre os principais tipos de corrosão que afetam o material, as causas e os efeitos da corrosão, e as técnicas de proteção contra a corrosão.
- Os grupos devem analisar o ciclo de vida do material metálico escolhido, considerando seu desempenho em relação à corrosão e os impactos ambientais, sociais e econômicos associados.
- Cada grupo deve elaborar um relatório com a análise do ciclo de vida e as conclusões.

Identificação de corrosão no cotidiano:

- Para complementar os relatórios, os alunos devem incluir um tópico sobre a "identificação de corrosão no cotidiano". Isso envolve a inclusão de registros fotográficos de situações de corrosão que os alunos tenham testemunhado, como exemplos de corrosão por pites (corrosão alveolar) em geladeiras, corrosão bimetálica ou corrosão galvânica, entre outros.

Apresentação dos resultados e discussão:

- Os grupos deverão apresentar os resultados na forma de seminários.
- Realizar uma discussão em grupo para compartilhar as descobertas e análises realizadas.
- Estimular a análise crítica dos resultados encontrados.

Avaliação:

- Seminários: clareza da apresentação, organização e fundamentação das informações e capacidade de argumentação.
- Participação nas discussões em grupo.

APÊNDICE K – Termodinâmica de um processo industrial

DISCIPLINA/CURSO: Termodinâmica dos Materiais (Engenharia de Materiais)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Identificar os conceitos fundamentais da termodinâmica e as propriedades termodinâmicas dos materiais (Nível 01 – Lembrar).
- Esquematizar os fluxos de energia e matéria envolvidos no processo de produção de um material (Nível 01 – Lembrar).
- Identificar os impactos ambientais associados ao consumo de energia e matéria nos processos industriais de materiais (Nível 02 – Compreender).
- Compreender a importância da redução de consumos de energia e matéria na busca pela sustentabilidade na indústria (Nível 02 – Compreender).
- Realizar uma análise termodinâmica do processo, identificando oportunidades de redução de consumos de energia e matéria (Nível 03 – Aplicar).
- Avaliar a viabilidade econômica e os impactos ambientais das oportunidades de melhoria identificadas (Nível 03 – Aplicar).

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Apresentar os conceitos fundamentais da termodinâmica e as propriedades termodinâmicas dos materiais.
- Explorar os principais fluxos de energia e matéria envolvidos no processo de produção de um material.
- Discutir os impactos ambientais associados ao consumo de energia e matéria nos processos industriais de materiais.

Análise termodinâmica da produção de aço:

- Selecionar um processo industrial relevante para a área de materiais.
- Identificar os fluxos de energia e matéria no processo escolhido, pontos de maior consumo de energia e matéria e as possibilidades de redução de consumos.

Avaliação econômica e sustentabilidade:

- Os grupos devem avaliar a viabilidade econômica das oportunidades de melhoria identificadas, considerando custos e benefícios.
- Analisar os impactos ambientais das melhorias propostas e sua contribuição para a sustentabilidade.

Apresentação e discussão dos resultados:

- Cada grupo deve apresentar e discutir seus resultados em sala de aula.

Avaliação:

- Qualidade da análise termodinâmica realizada pelos grupos.
- Viabilidade econômica e sustentabilidade das melhorias propostas pelos grupos.
- Participação nas discussões em sala de aula.

APÊNDICE L – Impacto ambiental de diferentes materiais utilizados em produtos do dia a dia

DISCIPLINA/CURSO: Resistência e Reologia dos Materiais (Engenharia de Materiais)
Resistência dos Materiais I (Engenharia de Produção)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Identificar as propriedades dos materiais, como resistência, flexibilidade, durabilidade e custo (Nível 01 – Lembrar).
- Compreender o conceito de impacto ambiental de diferentes materiais utilizados em produtos comuns do dia a dia (Nível 02 – Compreender).
- Realizar uma pesquisa sobre os materiais utilizados em um produto selecionado e comparar suas propriedades (Nível 03 – Aplicar).
- Analisar o impacto ambiental de cada material, considerando diferentes fatores relevantes, como uso de recursos e emissões de gases de efeito estufa (Nível 04 – Analisar).
- Avaliar as escolhas feitas pela indústria e o papel dos consumidores na demanda por produtos sustentáveis e a atuação profissional dos alunos na escolha de materiais adequados (Nível 05 – Avaliar).

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Apresentar diferentes produtos do dia a dia e discutir os materiais utilizados em sua produção.
- Explorar as propriedades dos materiais e sua importância na mecânica e reologia dos produtos.

Análise do impacto ambiental de materiais:

- Dividir a turma em grupos e atribuir a cada grupo um produto para análise, como, embalagens de alimentos, sacolas plásticas, garrafas PET, entre outros.
- Os grupos devem pesquisar e comparar as propriedades dos materiais utilizados no produto selecionado.
- Avaliar o impacto ambiental de cada material, considerando diferentes aspectos, como consumo de recursos e geração de resíduos.

Apresentação dos resultados e discussão:

- Cada grupo deve apresentar os resultados da análise para a turma.
- Promover debates e discussões sobre as escolhas feitas pela indústria, o papel dos consumidores na demanda por produtos sustentáveis e a atuação profissional dos alunos na escolha de materiais adequados.

Avaliação:

- Participação ativa dos alunos durante a aula expositiva.
- Qualidade da pesquisa realizada pelos grupos.
- Análise adequada das propriedades dos materiais e do impacto ambiental.

APÊNDICE M – Produtos plásticos "sustentáveis" e sua degradabilidade

DISCIPLINA/CURSO: Aditivação e Degradação de Polímeros (Engenharia de Materiais)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Recordar a degradação de polímeros, incluindo os conceitos de biodegradação e oxibiodegradação (Nível 01 – Lembrar).
- Relacionar a importância da degradabilidade de polímeros e sua relevância para questões ambientais e econômicas (Nível 02 – Compreender).
- Identificar produtos plásticos no mercado que são rotulados como "sustentáveis" e entender que critérios e características tornam esses produtos sustentáveis (Nível 03 – Aplicar).
- Avaliar as informações contidas nas embalagens dos produtos escolhidos, considerando o tipo de polímero utilizado e sua degradabilidade, incluindo as opções biodegradáveis e oxibiodegradáveis (Nível 03 – Aplicar).
- Analisar criticamente as vantagens e desvantagens de cada tipo de embalagem, levando em conta aspectos ambientais e econômicos, os requisitos para degradabilidade, presença de agentes de degradação, microplásticos e nanoplásticos (Nível 04 – Analisar)

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Explorar os diferentes tipos de polímeros utilizados e suas características de degradação.
- Microplásticos e nanoplásticos.

Pesquisa e análise dos produtos plásticos:

- Pesquisar produtos plásticos comercializados em supermercados e caracterizados como "sustentáveis".
- Avaliar as informações contidas nas embalagens, considerando o tipo de polímero utilizado e sua degradabilidade, incluindo as opções biodegradáveis e oxibiodegradáveis.
- Realizar uma análise crítica das informações coletadas, considerando os requisitos para degradabilidade e os possíveis impactos ambientais e econômicos.

Resultados da pesquisa:

- Cada grupo deve preparar uma cartolina contendo recortes das embalagens dos produtos analisados, juntamente com as informações pesquisadas.
- Expor em espaços abertos da universidade, permitindo a divulgação dos dados e o acesso das informações pelos demais alunos.
- Alternativamente, disponibilizar o resultado físico por meio de um QR Code (https://qr.io/), direcionando para um espaço digital específico onde as informações podem ser encontradas.
- Equipes também podem disponibilizar o material em suas redes sociais.

Discussão em sala de aula:

- Promover uma discussão para compartilhar os resultados da pesquisa e análise crítica realizada.
- Estimular a reflexão sobre a importância da educação ambiental e do consumo consciente na escolha de embalagens mais sustentáveis.

Avaliação:

- Cartolinas: organização, criatividade, clareza, legibilidade e análise adequada das informações coletadas.

APÊNDICE N – Produto e processo produtivo com foco no ciclo de vida de materiais

DISCIPLINA/CURSO: Projeto do Produto e do Processo (Engenharia de Produção)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Compreender os conceitos básicos relacionados ao ciclo de vida de materiais e suas implicações no desenvolvimento de produtos e processos produtivos (Nível 01 – Lembrar).
- Analisar criticamente as diferentes perspectivas (meio ambiente, economia e sociedade) relacionadas ao ciclo de vida de materiais (Nível 02 – Compreender).
- Realizar uma pesquisa sobre um tópico específico do ciclo de vida de um produto específico e processo produtivo, como a escolha de materiais, otimização do uso de energia ou gestão de resíduos, e desenvolver argumentos embasados (Nível 03 – Aplicar).
- Participar de um debate em sala de aula, apresentando a perspectiva do grupo e analisando criticamente as soluções propostas pelos outros grupos (Nível 04 – Analisar)
- Identificar lacunas ou limitações nas soluções propostas, buscando soluções mais abrangentes e sustentáveis (Nível 05 – Avaliar).

Metodologia:

Aula expositiva ou sala de aula invertida:

- Apresentar o tema da aula e sua relevância para o desenvolvimento de produtos e processos produtivos.
- Explicar a importância de considerar o ciclo de vida de materiais na tomada de decisões.

Divisão em grupos e pesquisa para preparação dos argumentos:

- Dividir a turma em grupos, atribuindo a cada grupo uma perspectiva específica (meio ambiente, economia, sociedade), relacionado ao desenvolvimento de um produto específico e processo produtivo (sugerido pelo professor), como escolha de materiais, otimização do uso de energia ou gestão de resíduos.
- Os grupos realizarão uma pesquisa aprofundada sobre o tópico escolhido, coletando informações relevantes e embasadas, para preparar argumentos sólidos com base em sua perspectiva, considerando os impactos positivos e negativos associados.

Debate em sala de aula:

- Os grupos apresentarão suas perspectivas e argumentos em um debate estruturado em sala de aula.
- Cada grupo terá a oportunidade de expor suas ideias, enquanto os outros grupos ouvem atentamente e preparam respostas fundamentadas.
- O debate deve enfocar a análise crítica das soluções propostas, identificando lacunas, limitações e buscando soluções mais abrangentes e sustentáveis.

Avaliação:

- Participação ativa no debate em sala de aula, demonstrando compreensão dos conceitos discutidos e argumentação embasada.
- Qualidade e fundamentação dos argumentos apresentados.
- Capacidade de análise crítica das soluções propostas pelos outros grupos.

APÊNDICE O – Pensamento do ciclo de vida do produto no planejamento e controle da produção

DISCIPLINA/CURSO: Planejamento e Controle da Produção II (Engenharia de Produção)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Entender os conceitos fundamentais sobre o planejamento e controle das atividades de produção (Nível 01 – Lembrar).
- Analisar as mudanças na demanda ao longo do jogo e compreender como elas afetam o planejamento e controle da produção (Nível 02 – Compreender).
- Implementar estratégias de planejamento e controle da produção adequadas à fase atual do ciclo de vida do produto no jogo (Nível 03 – Aplicar).
- Identificar os desafios enfrentados na gestão de estoques durante a fase atual do ciclo de vida do produto e buscar soluções eficazes (Nível 04 – Analisar).
- Avaliar o impacto do gerenciamento eficaz do ciclo de vida do produto no desempenho geral da fábrica e compreender os benefícios de pensar no ciclo de vida durante o planejamento e controle da produção (Nível 05 – Avaliar).
- Refletir sobre as lições aprendidas no jogo em relação ao pensamento do ciclo de vida do produto e considerar sua aplicação na futura carreira no campo do planejamento e controle da produção (Nível 04 – Analisar).

Metodologia

Introdução:

- Explicar o uso do jogo simulador "Chão de Fábrica" como ferramenta de aprendizagem.

Jogo simulador:

- Os alunos jogarão o simulador, simulando o planejamento e controle da produção em diferentes fases do ciclo de vida do produto.
- Durante o jogo, os alunos serão incentivados a refletir e responder o questionário proposto.

Perguntas norteadoras

- Qual é a fase atual do ciclo de vida do produto no jogo? Explique brevemente as características dessa fase.
- Quais são as principais mudanças na demanda que você está observando à medida que o jogo progride? Como essas mudanças afetam o planejamento e controle da produção?
- Considerando a fase atual do ciclo de vida do produto, que estratégias de planejamento e controle da produção você está implementando? Por quê?
- Quais são os principais desafios enfrentados na gestão de estoques durante a fase atual do ciclo de vida do produto no jogo? Como você está lidando com esses desafios?
- Você notou a necessidade de ajustar a capacidade produtiva em alguma etapa do jogo? Explique por que essa alteração foi necessária e como você a implementou.
- Baseado nas experiências do jogo, como o gerenciamento eficaz do ciclo de vida do produto pode impactar o desempenho geral da fábrica? Quais são os benefícios de se pensar no ciclo de vida durante o planejamento e controle da produção?
- Como as estratégias de planejamento e controle da produção que você aplicou no jogo poderiam ser adaptadas para situações do mundo real? Você acredita que essas estratégias seriam igualmente eficazes? Por quê?
- Quais lições você aprendeu ao jogar o simulador "Chão de Fábrica" em relação ao pensamento do ciclo de vida do produto? Como você poderia aplicar essas lições em sua futura carreira no campo do planejamento e controle da produção?

Discussão em grupo:

- Após o jogo, os alunos se reunirão para discutir suas experiências e respostas ao questionário.
- Cada aluno apresentará suas conclusões e *insights* sobre o pensamento do ciclo de vida do produto no contexto do planejamento e controle da produção.

Avaliação:

- Qualidade das respostas ao questionário, demonstrando compreensão dos conceitos discutidos e análise crítica.
- Contribuição para o debate em sala de aula, apresentando insights relevantes e participando ativamente das discussões.
- Capacidade de reflexão sobre as lições aprendidas no jogo e sua aplicação na futura carreira no campo do planejamento e controle da produção.

APÊNDICE P – Soluções sustentáveis para o saneamento básico: reflexões sociais, ambientais e econômicas

DISCIPLINA/CURSO: Saneamento Básico (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Recordar os conhecimentos de engenharia sanitária (Nível 01 – Lembrar).
- Entender a importância do saneamento básico para a qualidade de vida das comunidades e para a preservação ambiental (Nível 01 – Lembrar).
- Compreender os problemas e desafios enfrentados em projetos de saneamento básico, incluindo os impactos ambientais, sociais e econômicos associados (Nível 02 – Compreender).
- Aplicar técnicas e tecnologias sustentáveis ao planejamento de soluções para problemas específicos relacionados ao saneamento básico (Nível 03 – Aplicar).
- Analisar o potencial das soluções sustentáveis de saneamento básico para melhorar a qualidade de vida das comunidades, preservar o meio ambiente e promover o desenvolvimento econômico (Nível 04 – Analisar).
- Criar uma maquete representando uma solução sustentável de saneamento básico, demonstrando compreensão dos princípios e das técnicas aplicadas (Nível 06 – Criar).

Metodologia:

Introdução e contextualização:

- Importância do saneamento básico para a qualidade de vida das comunidades e para a preservação ambiental.
- Problemas e desafios enfrentados em projetos de saneamento básico, destacando os impactos ambientais, sociais e econômicos associados.

Divisão em grupos e seleção do tema:

- Os alunos devem ser divididos em grupos de até cinco pessoas.
- Cada grupo deve selecionar um tema específico relacionado ao saneamento básico, como tratamento de água, coleta e tratamento de esgoto, gestão de resíduos sólidos ou drenagem urbana.

Planejamento e reflexões:

- Os grupos devem realizar pesquisas sobre técnicas e tecnologias sustentáveis aplicadas ao tema escolhido. Eles devem analisar os impactos ambientais, sociais e econômicos das soluções convencionais e propor alternativas sustentáveis.
- A fim de norteador as reflexões críticas, abaixo estão descritas perguntas norteadoras para cada dimensão:

Impactos Sociais:

- Como o sistema de saneamento básico afeta a qualidade de vida e bem-estar da população?
- Quais são os benefícios sociais gerados pela implementação de um sistema eficiente de abastecimento de água e tratamento de esgoto?
- Quais são os impactos na saúde da população decorrentes da falta de saneamento adequado?
- Quais são os efeitos socioeconômicos da inclusão de comunidades excluídas do acesso a serviços de saneamento básico?

Impactos Ambientais:

- Como as intervenções no saneamento básico afetam os recursos hídricos, incluindo rios, lagos e aquíferos?

- Quais são os impactos nos ecossistemas naturais, como flora e fauna, decorrentes do tratamento e disposição de resíduos sólidos e líquidos?
- Quais são os efeitos da poluição gerada pelo saneamento básico inadequado nos corpos d'água e no meio ambiente em geral?
- Como o uso sustentável dos recursos hídricos pode ser considerado no planejamento do saneamento básico?

Impactos Econômicos:

- Quais são os custos e benefícios financeiros associados à implementação de um sistema eficiente de saneamento básico?
- Como o saneamento básico adequado contribui para o desenvolvimento econômico local e regional?
- Quais são os impactos econômicos da falta de saneamento básico, como perdas na produtividade, aumento de doenças e despesas com saúde?
- Como a gestão eficiente de recursos hídricos pode contribuir para a redução de custos e o uso racional de recursos no contexto do saneamento básico?

Construção da maquete:

- Com base nas pesquisas realizadas, os grupos devem construir uma maquete representando o sistema escolhido. A maquete deve refletir as soluções propostas de forma clara e visualmente atrativa.

Avaliação:

- Representação clara e coerente para o sistema de saneamento básico proposto, incluindo os principais elementos e componentes envolvidos.
- Estética da maquete, levando em consideração a organização, os detalhes e a apresentação geral.
- Capacidade de comunicação dos alunos ao descreverem as soluções propostas e a importância do saneamento básico.

APÊNDICE Q – Abordagem sistêmica para projetos de pavimentação

DISCIPLINA/CURSO: Pavimentação Engenharia (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Recordar os conhecimentos necessários à aplicação das técnicas usuais de projeto e construção de pavimentos (Nível 01 – Lembrar).
- Compreender os possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes da pavimentação e a importância de mitigá-los (Nível 02 – Compreender).
- Aplicar os princípios da sustentabilidade em projetos de pavimentação sobre estudos de casos (Nível 03 – Aplicar).
- Elaborar um relatório sobre o estudo de caso, incluindo a análise da viabilidade ambiental, social e econômica de diferentes soluções de pavimentação, considerando os impactos e benefícios associados a cada opção (Nível 04 – Analisar).
- Avaliar criticamente as soluções propostas, justificando as escolhas (Nível 05 – Criar).

Metodologia

Estudos de caso:

- Desafios reais de projetos de pavimentação, a fim de que alunos analisem e proponham soluções considerando as questões ambientais, sociais e econômicas.
- O que considerar em cada âmbito?
    - É importante que o profissional avalie os possíveis impactos ambientais decorrentes da pavimentação, como o desmatamento, a compactação do solo e a alteração de cursos d'água. Deve pensar em como reduzir o consumo de recursos durante o processo de construção e os resíduos gerados, além de garantir o mínimo de impacto na vegetação e recursos hídricos.
    - O engenheiro pode considerar os impactos sociais da pavimentação, levando em conta questões como o acesso e a segurança viária para pedestres e ciclistas, a inclusão de pessoas com mobilidade reduzida e a minimização de impactos nas comunidades locais durante a execução da obra. Ele pode buscar soluções que promovam a integração social, a participação da comunidade e a melhoria da qualidade de vida dos usuários.
    - O profissional pode realizar análises de viabilidade econômica do projeto de pavimentação, considerando os custos de construção, operação e manutenção, bem como os benefícios econômicos decorrentes da melhoria da infraestrutura viária, como redução de custos de transporte e estímulo ao comércio local.

Relatório:

- Elaborar um relatório que apresente as soluções para o estudo de caso, destacando as considerações ambientais, sociais e econômicas.
- O relatório também deve incluir a justificativa das escolhas feitas.

Avaliação:

- Qualidade do relatório elaborado, incluindo a clareza das soluções propostas, a fundamentação teórica apresentada e a justificativa da escolha.
- Capacidade de aplicar os princípios da sustentabilidade em projetos de pavimentação.

APÊNDICE R – Avaliação multidimensional de um projeto de transporte

DISCIPLINA/CURSO: Transportes (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Recordar os principais desafios brasileiros quanto ao desenvolvimento do sistema de transportes (Nível 01 – Lembrar).
- Compreender a importância da avaliação multidimensional no planejamento e desenvolvimento de projetos de transporte (Nível 02 – Compreender).
- Aplicar a abordagem multidimensional no desenvolvimento de um projeto de transporte, levando em consideração os principais desafios e os aspectos sociais, ambientais e econômicos (Nível 03 – Aplicar).
- Analisar as soluções propostas na simulação do projeto de transporte, com justificativas e embasamento teórico (Nível 04 – Analisar).
- Avaliar a viabilidade e eficácia das soluções propostas para o local escolhido (Nível 05 – Avaliar).
- Desenvolver um projeto de transporte que aborde de forma integrada os desafios identificados, considerando as diferentes dimensões da sustentabilidade (Nível 06 – Criar).

Metodologia

Introdução:

- Apresentação dos objetivos da aula e contextualização da importância dos engenheiros cartográficos e de agrimensura no planejamento e desenvolvimento de sistemas de transporte.

Atividade de simulação:

- Os estudantes devem ser divididos em grupos pequenos, nos quais cada equipe se responsabilizará por simular um projeto de transportes para um local específico, considerando os principais desafios brasileiros no desenvolvimento de transportes, assim como os aspectos sociais, econômicos e ambientais envolvidos.
- Os grupos devem levar em consideração os seguintes aspectos:
    - Falta de investimento e deficiência na infraestrutura de transporte, incluindo estradas malconservadas, falta de acesso a áreas remotas e à falta de adequação e eficácia dos sistemas de transporte público existentes.
    - Congestionamentos constantes, resultando em perda de tempo, aumento da poluição do ar e impactos negativos na economia.
    - Desigualdade significativa de acesso ao transporte, especialmente para comunidades de baixa renda, áreas rurais e regiões remotas, dificultando a mobilidade e o acesso a serviços básicos.
    - Impactos ambientais, como a emissão de poluentes, a degradação ambiental causada pela expansão da infraestrutura e a necessidade de promover modos de transporte mais sustentáveis.
    - Eficiência logística, incluindo a falta de integração entre diferentes modos de transporte, o que impacta negativamente a competitividade do setor produtivo.
- A simulação do projeto deve incluir as soluções que abordem os desafios identificados.

Resultados e discussão:

- Cada grupo deve apresentar os resultados da simulação, destacando as principais descobertas, as soluções propostas e as justificativas embasadas nas considerações multidimensionais.
- O professor deve estimular a reflexão crítica sobre as soluções apresentadas, identificando possíveis melhorias, e sobre o papel dos engenheiros no desenvolvimento de projetos multidimensionais.

Avaliação:

- Qualidade dos projetos apresentados, incluindo a aplicação dos conceitos multidimensionais, a fundamentação teórica e a análise crítica das soluções propostas.

APÊNDICE S – Desafios e oportunidades dos bairros de Teresina-PI

DISCIPLINA/CURSO: Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura)

Objetivos categorizados de acordo com Taxonomia de Bloom Revisada por Krathwohl:

- Entender sobre a relação indivíduo-sociedade (Nível 01 – Lembrar).
- Compreender as desigualdades socioeconômicas e ambientais existentes entre os bairros e suas consequências para a qualidade de vida dos moradores (Nível 02 – Compreender).
- Aplicar a análise comparativa dos bairros para inferir sobre a inclusão social, distribuição de recursos, qualidade dos serviços e impactos ambientais (Nível 03 – Aplicar).
- Analisar criticamente os resultados e discussões sobre as desigualdades, equidade no acesso a recursos e oportunidades, e a importância das ações de preservação e recuperação ambiental (Nível 04 – Analisar).
- Promover a reflexão sobre o papel dos profissionais de planejamento urbano na busca por soluções para as desigualdades e melhorias socioeconômicas e ambientais nos bairros (Nível 05 – Avaliar).

Metodologia:

Introdução:

- Apresentar a importância da análise socioeconômica e ambiental dos bairros de Teresina-PI para o planejamento urbano e a busca por uma cidade mais justa e sustentável.

Estudo de caso:

- Análise do documento "Perfil dos Bairros de Teresina-PI" disponível no site (https://semplan.pmt.pi.gov.br/teresina-em-bairros/) da Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação (SEMPLAN) sobre as questões sociais, ambientais e econômicas em relação à realidade social dos moradores dos bairros.
- Sugere-se que atividade seja realizada em dupla, e cada dupla escolhe dois bairros de zonas diferentes para realizar uma análise comparativa.

Análises e reflexões:

- As duplas devem realizar a análise dos documentos, levando em consideração as seguintes dimensões:
    - Caracterização socioeconômica: analisar os indicadores socioeconômicos apresentados no documento, como rendimento nominal mensal, acesso a serviços de saúde, assistência social e educação, densidade demográfica e condições de habitação.
    - Infraestrutura e serviços: investigar a disponibilidade e qualidade da infraestrutura e serviços nos diferentes bairros, como abastecimento de água, sistema de esgoto, iluminação pública, coleta de lixo, transporte público, entre outros.
    - Questões ambientais: identificar informações relacionadas ao meio ambiente, parques ambientais, praças e limpeza pública.
    - Dinâmicas espaciais: refletir sobre a distribuição e organização espacial dos bairros, considerando segregação socioespacial, o acesso a oportunidades e serviços, a mobilidade urbana e a concentração de atividades econômicas.
    - Turismo, cultura e lazer: investigar as informações disponíveis sobre espaços culturais e quadra de esporte e ginásios.

Resultados e discussão:

- A partir da análise comparativa os estudantes devem inferir sobre:
    - Desigualdades sociais existentes entre os bairros, inclusão social e distribuição de recursos.
    - Discrepâncias na oferta dos serviços e as consequências disso para a qualidade de vida dos moradores.
    - Compreensão dos impactos ambientais e a necessidade de ações de preservação e recuperação ambiental.
    - Equidade no acesso a recursos e oportunidades nos diferentes bairros.
    - Os resultados e discussões devem ser apresentados para a turma, pode ser em forma de seminários, promovendo a troca de ideias, o debate e a análise crítica das questões abordadas.
- Os estudantes também devem sugerir oportunidades de melhorias para cada bairro, a fim de contribuir positivamente para a situação deles.

Avaliação:

- Qualidade das reflexões apresentadas e na capacidade de inferir sobre as desigualdades e impactos socioambientais.

ANEXOS

ANEXO A – Matriz Curricular do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Piauí

<table>
<tr><th colspan="3">DISCIPLINAS OBRIGATÓRIAS</th></tr>
<tr><th>Núcleo de Conteúdos Básicos</th><th>Núcleo de Conteúdos Profissionalizantes</th><th>Núcleo de Conteúdos Específicos</th></tr>
<tr><td>- Administração e Organização
- Álgebra Linear
- Cálculo Diferencial e Integral I
- Cálculo Diferencial e Integral II
- Cálculo Diferencial e Integral III
- Desenho Técnico
- Eletricidade Básica
- Empreendedorismo
- Equações Diferenciais
- Fenômenos de Transporte
- Física Experimental I
- Física Experimental II
- Física Geral I
- Física Geral II
- Física Geral III
- Físico-Química
- Geometria Analítica
- Inglês Instrumental
- Introdução a Ciência da Computação
- Introdução a Economia
- Mecânica Geral
- Metodologias e Técnicas de Pesquisa
- Probabilidade e Estatística
- Química Analítica
- Química Analítica Experimental
- Química Experimental
- Química Geral
- Química Orgânica</td><td>- Ciência dos Materiais I
- Ciência dos Materiais II
- Ciências do Ambiente
- Gestão da Qualidade
- Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho
- Métodos Numéricos
- Seminário de Introdução a Engenharia de Materiais
- Termodinâmica dos Materiais</td><td>- Aditivação e Degradação de Polímeros
- Caracterização de Materiais
- Compósitos e Blendas
- Conformação e Soldagem
- Corrosão de Metais
- Ensaio Mecânico dos Materiais
- Materiais Cerâmicos
- Materiais Metálicos
- Materiais Poliméricos
- Processamento dos Materiais Cerâmicos
- Processamento dos Materiais Metálicos
- Processamento dos Materiais Poliméricos
- Propriedades e Aplicações dos Materiais Cerâmicos
- Resistência e Reologia dos Materiais
- Seleção de Materiais</td></tr>
<tr><th colspan="3">DISCIPLINAS OPTATIVAS</th></tr>
<tr><th colspan="3">Optativas I, II, III e IV</th></tr>
<tr><td colspan="2">- Argilas Industriais
- Biomateriais
- Biopolímeros e Materiais Nanoestruturados Poliméricos
- Caracterização dos Materiais I
- Caracterização dos Materiais II
- Caracterização dos Materiais III
- Colóides, Superfícies e Interfaces
- Comunicação e Expressão
- Controle Estatístico de Processos
- Corrosão dos Materiais
- Ergonomia
- Falha Prematura de Polímeros
- Filosofia
- Fundição
- Introdução ao Equilíbrio de Fases em Materiais Cerâmicos
- Metalurgia da Soldagem</td><td>- Libras – Língua Brasileira de Sinais
- Metalurgia Extrativa
- Nanotecnologia
- Propriedade Intelectual
- Propriedades Ópticas, Elétricas e Mecânicas dos Materiais
- Psicologia Social
- Reciclagem de Materiais
- Refratários Cerâmicos
- Relações Étnico Raciais, Gênero e Diversidade
- Técnicas de Caracterização dos Metais
- Tecnologia de Elastômeros e Termofixos
- Tecnologia do Vidro
- Tópicos Especiais em Engenharia de Materiais
- Tratamentos Térmicos e Termoquímicos</td></tr>
<tr><th colspan="3">TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO I e II</th></tr>
<tr><th colspan="3">ESTÁGIO SUPERVISIONADO</th></tr>
</table>

Fonte: Projeto Pedagógico do Curso, 2018.

ANEXO B – Matriz Curricular do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Piauí

DISCIPLINAS OBRIGATÓRIAS		
Núcleo de Conteúdos Básicos	**Núcleo de Conteúdos Profissionalizantes**	**Núcleo de Conteúdos Específicos**
- Desenho Técnico - Algoritmos e Programação - Cálculo Diferencial e Integral I - Cálculo Diferencial e Integral II - Cálculo Diferencial e Integral III - Introdução à Metodologia Científica - Química Geral e Tecnológica - Representação Gráfica - Física I - Física II - Física III - Álgebra Linear - Engenharia e Ciências dos Materiais - Física experimental I - Mecânica Geral I - Introdução à Economia - Equações Diferenciais e Ordinárias - Probabilidade e Estatística I - Probabilidade e Estatística II - Métodos Numéricos - Eletricidade Básica - Laboratório de Eletricidade	- Introdução à Engenharia de Produção - Tópicos de Engenharia de Produção - Engenharia de Métodos - Gestão da Qualidade - Organização do Trabalho e Sistemas - Pesquisa Operacional I - Pesquisa Operacional II - Ergonomia - Controle Estatístico da Qualidade - Engenharia Econômica e Finanças I - Engenharia Econômica e Finanças II - Gestão da Manutenção - Projeto de Produto e Processo - Planejamento e Controle da Produção I - Planejamento e Controle da Produção II - Sistemas de Informações Gerenciais - Gestão de Projetos - Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho - Estratégia Empresarial - Automação - Logística e Cadeia de Suprimentos - Projeto de Instalações	- Administração e Organização - Processos de Fabricação e Sistemas Mecânicos - Contabilidade e Custos - Processos Químicos - Fundamentos Termodinâmicos - Mecânica dos Fluidos - Instituições do Direito - Ciências do Ambiente
DISCIPLINAS OPTATIVAS		
Optativas I, II e III		
- Administração de Projetos - Administração de Recursos Humanos I - Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais I - Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais II - Administração e Produção I Administração e Produção II - Álgebra Linear II - Bioenergia e Biomassa - Comunicação e Expressão - Conforto Ambiental - Engenharia, Ética e Sociedade - Estágio Supervisionado II - Física Geral IV - Gerenciamento de Sistemas da Qualidade - Gestão da Tecnologia da Informação - Gestão de Custos Logísticos - Gestão de Operações em Serviços - Gestão de Serviços	- Inglês Instrumental - Inovação e Empreendedorismo - Introdução à Manufatura Mecânica - Libras - Marketing - Mecânica II - Mercado Financeiro e de Capitais - Organização, Sistemas e Métodos I - Organização, Sistemas e Métodos II - Planejamento de Experimentos - Princípios de Metrologia Industrial - Processo Decisório - Projeto Integrado de Sistemas de Produção - Propriedade Intelectual - Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade - Resistência dos materiais I - Técnicas de Gerenciamento de Operações Industriais	
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO I e II		
ESTÁGIO SUPERVISIONADO		

Fonte: Projeto Pedagógico do Curso, 2018.

ANEXO C – Matriz Curricular do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Piauí

<table>
<tr><th colspan="3">DISCIPLINAS OBRIGATÓRIAS</th></tr>
<tr><th>Núcleo de Conteúdos Básicos</th><th>Núcleo de Conteúdos Profissionalizantes</th><th>Núcleo de Conteúdos Específicos</th></tr>
<tr><td>- Administração e Organização de Empresas
- Ajustamento de Observações
- Álgebra Linear e Geometria Analítica
- CAD - Desenho Assistido por Computador
- Cálculo Diferencial e Integral I
- Cálculo Diferencial e Integral II
- Ciências do Ambiente
- Desenho Técnico
- Elementos de Economia
- Física Geral I
- Física Geral IV
- Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania
- Introdução à Metodologia Científica
- Introdução ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura
- Mecânica dos Sólidos
- Probabilidade e Estatística T
- Programação de Computadores
- Resistência dos Materiais A</td><td>- Cálculo Numérico T
- Fundamentos de Geologia e Geoquímica
- Hidrologia
- Higiene e Segurança do Trabalho
- Mecânica dos Solos A
- Pavimentação Engenharia
- Processamento Digital de Imagens
- Projeto de Estradas
- Saneamento Básico
- Sistema de Informação Geográfica
- Transportes</td><td>- Agrimensura Aplicada
- Astronomia de Posição
- Avaliações e Perícias
- Cadastro Territorial
- Cartografia Digital, Topográfica e Temática
- Cartografia Geral
- Direito e Legislação de Terra
- Fotogrametria I
- Fotointerpretação
- Geodésia I
- Geodésia II
- Levantamentos Especiais
- Locações Especiais e Batimetria
- Parcelamento Territorial
- Projeto e Análise de Redes Geodésicas
- Sensoriamento Remoto
- Topografia I
- Topografia II
- Topografia III</td></tr>
<tr><th colspan="3">DISCIPLINAS OPTATIVAS</th></tr>
<tr><th colspan="3">Optativas I e II</th></tr>
<tr><td colspan="2">- Astronomia Aplicada
- Comunicação e Expressão
- Construção Civil e Materiais
- Engenharia de Tráfego
- Equipamento de Construção
- Fenômenos de Transportes
- Física Geral II T
- Fotogrametria II
- Geometria Descritiva</td><td>- Hidráulica
- LIBRAS
- Obras de Terra
- Projeto de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura
- Química Geral
- Relações Étnico-Raciais, Gênero e Diversidade</td></tr>
<tr><th colspan="3">TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO I e II</th></tr>
<tr><th colspan="3">ESTÁGIO SUPERVISIONADO</th></tr>
</table>

Fonte: Projeto Pedagógico do Curso, 2014.