

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

WAGNER TEIXEIRA FRANÇA

**INTEGRAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E DO CUSTO
DO CICLO DE VIDA: EVITANDO *TRADE-OFF* ENTRE ABORDAGENS
AMBIENTAIS E ECONÔMICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

WAGNER TEIXEIRA FRANÇA

**INTEGRAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E DO CUSTO
DO CICLO DE VIDA: EVITANDO *TRADE-OFF* ENTRE ABORDAGENS
AMBIENTAIS E ECONÔMICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski

PONTA GROSSA

2018



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

Integração da Avaliação do Ciclo de Vida e do Custo do Ciclo de Vida: Evitando
trade-off entre abordagens ambientais e econômicas

por

Wagner Teixeira França

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 29 de novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski
Prof. Orientador

Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco
Membro titular

Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

RESUMO

TEIXEIRA FRANÇA, Wagner. **Integração da Avaliação do Ciclo de Vida e do Custo do Ciclo de Vida:** Evitando *trade-off* entre abordagens ambientais e econômicas. 2018. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Existe uma pressão constante por processos produtivos mais sustentáveis. Organizações que agregam as abordagens de sustentabilidade garantem diferenciais e vantagens competitivas em produtos e serviços. Duas abordagens de sustentabilidade são econômicas e ambientais. Medir os impactos econômicos e ambientais oferecem maior visão do sistema e melhor tomada de decisão sobre opções de projetos mais sustentáveis. Um problema identificado na literatura é relacionar as abordagens e evitar *trade-off* entre elas. Avaliação do Ciclo de Vida e Avaliação do Custo do Ciclo de Vida são duas técnicas amplamente utilizadas para medir os impactos. Este trabalho buscou analisar na literatura como relacionar as duas técnicas para evitar *trade-off* entre as abordagens econômicas e ambientais. Foi utilizada uma metodologia de revisão sistêmica na literatura para montar uma coleção de pesquisas aplicadas em diversas áreas. Uma análise crítica e comparativa dos artigos da coleção foi feita para identificar como evitar o *trade-off*. No total, 39 artigos foram usados na análise. Considerando todos, 92% apresentaram metodologia de integração e 69% evitaram *trade-off*. Os pesquisadores utilizaram gráficos bidimensionais, modelos matemáticos e ferramentas complementares para evitar *trade-off*. O futuro do tema depende de maior padronização das técnicas. O total da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida depende também da avaliação social do ciclo de vida. Com a integração das técnicas, *stakeholders* conseguiram ter maior visualização de benefícios sustentáveis de opções de projetos, produtos e serviços.

Palavras-chave: Custo do Ciclo de Vida. Avaliação do Ciclo de Vida. Análise do Ciclo de Vida. *Trade-off*.

ABSTRACT

TEIXEIRA FRANÇA, Wagner. **Integration of Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost: Avoiding trade-off between environmental and economic approaches.** 2018. 72 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Industrial Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2018.

There is a frequent pressure to develop more sustainable productive processes. Organizations that add sustainability approach ensure competitive differentials and advantages in products and services. Two approaches of sustainability are economic and environmental issues. Measuring economic and environmental impacts provide better view of the system and decision-making on better sustainable project options. One problem identified in the literature is how to correlate approaches and avoid trade-off among them. Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost are tools widely used to count impacts. This paper aimed to analyze in the literature how to link the tools and avoid trade-off between economic and environment approaches. A systematic review was carried in the literature to set a research collection applied in multiple areas. A critical and comparative analysis of the articles in the collection was made to identify how to avoid the trade-off. In total, 39 articles were used in the analysis. Considering all, 92% of them presented integration methodology and 69% avoided trade-off. The researchers used two-dimensional graphs, mathematical models and complementary tools to avoid trade-off. The future of the subject depends on greater standardization of techniques. The total life cycle sustainability assessment also depends on the social life cycle assessment. With the integration of the techniques, stakeholders have been able to have greater visualization of the sustainable benefits of project, product and service options.

Keywords: Life Cycle Cost. Life Cycle Assessment. Life Cycle Analysis. Trade-off.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Estrutura de fases de um CCV | 16 |
| Figura 2 - Exemplo de etapas do cálculo de CCV | 17 |
| Figura 3 - Exemplo de uma <i>Eco-Care-Matrix</i> | 23 |
| Figura 4 - Pesquisa para o Referencial Teórico | 25 |
| Figura 5 - Etapas das pesquisa..... | 27 |
| Figura 6 - Tipo das pesquisas e área de aplicação | 38 |
| Figura 7 - Palavras-chave com maiores ocorrências | 39 |
| Figura 8 - Questionamentos da Integração de ACV e CCV | 54 |
| | |
| Gráfico 1 - Os 6 países de maiores publicações em ACV..... | 13 |
| Gráfico 2 - Quantidade de pesquisas de ACV nos últimos 10 anos | 14 |
| Gráfico 3 - Quantidade de pesquisas de CCV nos últimos 10 anos..... | 18 |
| Gráfico 4 - Os 6 países de maiores publicações em CCV | 19 |
| Gráfico 5 - Quantidade de pesquisas por ano | 31 |
| Gráfico 6 - Quantidade de autores com mais de 2 pesquisas | 35 |
| Gráfico 7 - Curva de Pareto do ranking de periódicos..... | 37 |
| Gráfico 8 - Universidades ou instituições | 43 |
| Gráfico 9 - Relação País de Origem x Localização da Aplicação do Estudo | 44 |
| Gráfico 10 - Estruturação de ACV na norma ISO..... | 45 |
| Gráfico 11 - Metodologias de AICV | 47 |
| Gráfico 12 - Formatos da integração de ACV e CCV | 58 |
| | |
| Quadro 1 - Coleção de Artigos | 32 |
| Quadro 2 – Países e universidades das pesquisas..... | 41 |
| Quadro 3 - Resultados das metodologias de CCV | 49 |
| Quadro 4 – Técnicas e Ferramentas mais utilizadas em conjunto com ACV e CCV | 56 |
| | |
| Tabela 1 - Ranking dos Periódicos..... | 36 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ACV | Avaliação do Ciclo de Vida |
| AICV | Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida |
| CCV | Custo do Ciclo de Vida |
| ECM | <i>Eco-Care-Matrix</i> |
| ICV | Inventário do Ciclo de Vida |
| IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| JCR | <i>Journal Citation Reports</i> |
| LCA | <i>Life Cycle Assessment</i> (Avaliação do Ciclo de Vida) |
| LCC | <i>Life Cycle Cost</i> (Custo do Ciclo de Vida) |
| LCSA | <i>Life Cycle Sustainability Assessment</i> (Avaliação do Ciclo de Vida da Sustentabilidade) |
| NBR | Norma Brasileira |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| SLCA | <i>Social Life Cycle Assessment</i> (Avaliação Social do Ciclo de Vida) |

LISTA DE ACRÔNIMOS

| | |
|-------|---|
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| IBICT | Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização) |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 PERGUNTA PROBLEMA | 8 |
| 1.2 OBJETIVO GERAL | 8 |
| 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 9 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA | 9 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA | 11 |
| 2.1.1 Definição e Relevância da ACV | 11 |
| 2.1.2 Princípios e Estrutura da ACV na ISO 14040:2009 | 12 |
| 2.1.3 Aplicações de ACV: Áreas, Países e Quantidade de Pesquisas | 13 |
| 2.2 CUSTO DO CICLO DE VIDA | 14 |
| 2.2.1 Definição e Estrutura | 14 |
| 2.2.2 Aplicações de CCV: Áreas, Países e Quantidade de Pesquisas | 18 |
| 2.3 CCV E ACV APLICADOS EM CONJUNTO | 19 |
| 2.3.1 Relevância e benefícios da Integração | 19 |
| 2.3.2 Integrando CCV e ACV | 20 |
| 3 METODOLOGIA DA PESQUISA | 24 |
| 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA | 24 |
| 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 24 |
| 3.2.1 Procedimentos para o Capítulo 2 – Referencial Teórico | 25 |
| 3.2.2 Procedimentos para a Coleção de Pesquisas | 26 |
| 3.2.3 Procedimentos para montagem da planilha eletrônica | 28 |
| 3.2.3.1 Características dos Artigos | 29 |
| 3.2.3.2 Características de ACV | 29 |
| 3.2.3.3 Características de CCV | 30 |
| 3.2.3.4 Características da integração das técnicas | 30 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ARTIGOS DA COLEÇÃO | 31 |
| 4.2 RESULTADOS OBTIDOS COM A LEITURA DOS ARTIGOS | 45 |
| 4.2.1 Resultados quanto à ACV | 45 |
| 4.2.2 Resultados quanto à CCV | 48 |
| 4.2.3 Resultados quanto à integração das técnicas | 53 |
| 4.3 ANÁLISE CRÍTICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 58 |
| 5 CONCLUSÃO | 63 |
| REFERÊNCIAS | 65 |

1 INTRODUÇÃO

Existe uma pressão constante pela sustentabilidade mundial. Dentre os 17 objetivos da Organização das Nações Unidas (ONU) de desenvolvimento sustentável para mudar o mundo até 2030, existe o objetivo 12: “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis” e o objetivo 9: “Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação” (ONU, 2018). Esses e outros objetivos incentivam organizações a serem mais sustentáveis nos seus processos produtivos.

Um tema relevante para organizações são os diferenciais competitivos, ou seja, critérios que fazem com que empresas sobrevivam no mercado, mantendo altos índices de lucratividade. Um desses critérios é o alinhamento de aspectos ambientais e econômicos em produtos e serviços, para criação de vantagem competitiva.

Com isso, permite-se dizer que as organizações devem alinhar a sustentabilidade com seus objetivos estratégicos, buscando maneiras de otimizar seus processos, minimizando impactos. Algumas ferramentas podem medir impactos ambientais e econômicos, ambas sendo abordagens de sustentabilidade, oferecendo uma avaliação holística sob sistemas, melhor tomada de decisão para projetos mais sustentáveis e, também, criando diferencial competitivo para as organizações.

Inserem-se, portanto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e a Avaliação do Custo do Ciclo Vida (CCV), os quais fornecem resultados em termos de potencial de impacto ambiental e avaliação econômica de processos, atividades, produtos ou serviços. O objetivo de uma ACV é avaliar, sistematicamente, impactos e aspectos ambientais gerados por sistemas produtivos desde a matéria-prima até a disposição final, fornecendo resultados do impacto em uma unidade funcional correspondente (ABNT, 2009). Já CCV objetiva não só calcular os custos de aquisição de matéria-prima, mas também custos operacionais, de manutenção e disposição final, ou seja, também em uma perspectiva de ciclo de vida (HUNKELER et al., 2008).

A partir do exposto, identificou-se na literatura a ocorrência de trabalhos que abrangem modelos que abordam aspectos econômicos e ambientais em diversas áreas. De Menna et al. (2018) aplicam as técnicas para gestão de desperdícios, Early et al. (2009) exemplificam a integração no setor automobilístico, Ilg et al. (2017) aplicam a integração para a construção civil, já Marquez et al. (2008) usam a integração para o setor de transportes.

Juntamente com a integração das técnicas, foi observada na literatura a presença do termo *trade-off*. Segundo o dicionário de Cambridge, *trade-off* é uma situação de balanço entre duas características quantificáveis que se opõem entre elas, ou seja, quando uma cresce, a outra decresce (Cambridge Dictionary, 2018).

Escolher por integrar as técnicas é fazer *trade-off* por quais abordagens, ambientais e econômicas, vão ser mais eficientes. Quando se tem duas ou mais características em um projeto, como no caso das duas abordagens, escolher aplicar ambas por completo e obter total eficiência é algo muito difícil de acontecer, portanto, pequenos sacrifícios devem ser feitos em preferir uma sob a outra, mas existem maneiras de minimizar esses sacrifícios, ou no caso, os *trade-off* (CAMPBELL e KELLY, 1994).

Reduzir *trade-off* é um dos principais objetivos em estudos que relacionam as técnicas ACV e CCV. Schmidt (2018) comenta que dentre as várias características de *design* de processos e produtos, um grande desafio é acrescentar a dimensão ambiental na dimensão de viabilidade econômica, obtendo uma solução ótima para as duas. Portanto, esse trabalho visa juntar informações e conhecimentos sobre a integração de ACV e CCV de modo a analisar como essa integração diminui o *trade-off* entre abordagens econômicas e ambientais, reduzindo impactos e otimizando processos para projetos mais sustentáveis.

1.1 PERGUNTA PROBLEMA

Como a integração das técnicas de Avaliação do Ciclo de Vida e Custo do Ciclo de Vida podem minimizar *trade-off* entre questões ambientais e econômicas?

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho é avaliar na literatura como as técnicas de Avaliação do Ciclo de Vida e Avaliação do Custo do Ciclo Vida são integradas de modo a reduzir o *trade-off* entre questões ambientais e econômicas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo 1: Levantar na literatura publicações científicas que envolvam ACV, CCV e *trade-off*.

Objetivo 2: Avaliar quais países, autores e em quais áreas a integração de ACV, CCV e *trade-off* vem sendo aplicadas.

Objetivo 3: Entender como o *trade-off* entre questões ambientais e econômicas é evitado, analisando os métodos de integração de ACV e CCV.

Objetivo 4: Realizar uma análise crítica dos estudos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Este estudo justifica-se, principalmente, pela vantagem competitiva que organizações podem obter integrando ferramentas de avaliação de impactos ambientais e econômicos. A vantagem competitiva se encontra presente nos diferenciais tecnológicos que produtos, sistemas e serviços poderão possuir, obtendo uma visão holística e eficiente sob novos projetos, melhorias em aspectos de maior impacto e optando, assim, por mais eficiência em sustentabilidade nos meios produtivos.

Observa-se, ainda, com a busca sistemática na literatura, a disparidade da integração das técnicas. Sendo um número limitado de estudos que abrangem as abordagens ambientais e econômicas em conjunto, como observado na base *Web of Science*, já que separados, ACV e CCV totalizam 24.228 e 8.920 pesquisas, respectivamente, e integrados, totalizam 791 pesquisas.

Dentro do ramo de Engenharia de Produção, existe a área de Engenharia de Sustentabilidade, que visa planejar e criar sistemas de melhorias e gestão ambiental, além de existir a área de Engenharia Econômica, que planeja a gestão econômica e de custos das organizações (ABEPRO, 2018). Essas duas áreas alinham-se com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU e com o objetivo do presente estudo.

Alguns autores apontam a relevância de integrar abordagens ambientais e econômicas. Hunkeler et al. (2008) afirmam que a dimensão econômica pode ser

calculada dentro de uma avaliação ambiental, e que essa avaliação possui métricas quantificáveis que gerenciam aspectos de sustentabilidade e que serão usadas para futuras melhorias. Gluch e Baumann (2004) comentam que métodos tradicionais de contabilidade são erroneamente usados para tratar problemas ambientais, e que ajustando variáveis e metodologias é possível acrescentar a abordagem ambiental junto com a avaliação do custo de ciclo de vida. Swarr et al. (2011) ressaltam a importância da integração e comentam que a estrutura e princípios de uma ACV pode ser complementada com CCV.

O Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) justifica o uso de ACV para aumentar eficiência de processos, promover marketing verde em produtos e também reduzir custos, incentivando pesquisas que relacionam sistemas produtivos com o meio-ambiente (IBICT, 2018).

Observando a importância em estudar abordagens ambientais e econômicas em conjunto, e também buscando na literatura pesquisas que integram as técnicas ACV e CCV, justifica-se o uso destas técnicas integradas para buscar eficiência em meios produtivos, reduzindo, assim, a escolha por menores impactos ambientais ou econômicos.

Este trabalho contribui com direcionamentos para futuras pesquisas que buscam integrar ACV e CCV, fornecendo base teórica, estruturas das técnicas, metodologias e as principais aplicações do tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Nesta seção, busca-se entender o tema avaliação do ciclo de vida (ACV). Foram estudados a definição, princípios, estrutura e quais as diversas áreas dos estudos de casos onde a ferramenta é aplicada.

2.1.1 Definição e Relevância da ACV

Avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta de análise que serve para calcular o impacto ambiental das funcionalidades de produtos (GUINEE e HEIJUNGS, 1993). Para Andersson e Ohlsson (1994) ACV é um método que verifica a carga ambiental que os produtos geram ao longo do ciclo de vida e tem como propósito comparar produtos, processos e serviços para decidir melhores mudanças. De Benedetto e Klemes (2009) têm definição semelhante. Os autores afirmam que ACV analisa elementos específicos de um sistema para medir impactos ambientais ao longo do ciclo de vida. Além disso, os autores comentam que a implementação da ferramenta depende de padrões de avaliação e da precisão das necessidades a serem alcançadas.

Autores mais recentes também definem avaliação do ciclo de vida. González-García et al. (2014) afirmam que ACV é um método padronizado e holístico para observar as consequências e potenciais de impacto da cadeia de produtos no ciclo de vida, além de ser o método mais eficiente para avaliação ambiental. Feijoo et al. (2017) também classifica ACV como a melhor e mais usada técnica para medir impactos ambientais, sendo que a ACV incorpora conceitos de desenvolvimento sustentável e pode ser usado para identificar o perfil ambiental de produtos e processos produtivos. Moreira et al. (2017) comenta sobre a padronização do estudo de ACV para diferentes sistemas e confirma que através da padronização, uma comparação entre diferentes opções de projetos pode ser feita. Portanto, para entender como uma ACV pode ser aplicada, o estudo da norma da ISO necessita ser feito (DE BENEDETTO e KLEMES, 2009).

2.1.2 Princípios e Estrutura da ACV na ISO 14040:2009

A definição, princípios e fases estruturais da ACV são definidos pela norma da ABNT, NBR ISO 14040 (ABNT, 2009). Segundo a norma, ACV é uma ferramenta de gestão ambiental utilizada para analisar e entender os impactos ambientais gerados pelos produtos, desde a concepção até o final do ciclo de vida. O estudo da norma é necessário para estruturar uma ACV. Ainda segundo a ISO 14040 (ABNT, 2009), a ACV propicia benefícios de melhorias em produtos e processos produtivos durante diversos estágios do ciclo de vida, além de servir como indicador ambiental, ferramenta de tomada de decisão e também oferece parâmetros de comparação entre melhores projetos de produtos ofertados no mercado quanto às questões ecológicas.

A estrutura da ACV proposta pela norma ISO 14040 (ABNT, 2009) inclui a definição de objetivo e escopo da aplicação, análise do inventário do ciclo de vida (ICV), avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV) e interpretação de resultados.

Na primeira fase da ACV, a definição de objetivo e escopo proposta pela norma ISO 14040 (ABNT, 2009) deve apresentar as justificativas e aplicações a serem feitas, além da definição do beneficiário e a utilização do estudo. O escopo deve conter o sistema do estudo pretendido e sua função, unidade funcional e fronteira do sistema, procedimento de alocação, categorias e metodologia de avaliação dos impactos, requisitos de dados, premissas, limitações, requisitos iniciais para a qualidade dos dados, tipo da análise crítica e estrutura do relatório do estudo. Já o inventário, deve conter os dados coletados de entrada e saída do sistema, por exemplo, todas as matérias-primas utilizadas e as emissões, resíduos, rejeitos e efluentes.

Na segunda fase da ACV, a análise do inventário proposta na norma ISO 14040 (ABNT, 2009) tem o objetivo de coletar dados e apresentar a mensuração dos impactos gerados por cada etapa dos processos dentro do ciclo de vida, oferecendo um detalhamento amplo das emissões das entradas e saídas propostas no inventário, o qual será usado na avaliação dos impactos do ciclo de vida.

A terceira fase da ACV é a análise dos impactos do ciclo de vida. A norma da ISO 14040 (ABNT, 2009) define AICV como a fase que irá associar os dados do inventário com categorias de impacto e indicadores ambientais, além de oferecer os parâmetros, com fatores de caracterização, para a fase da interpretação. O nível de detalhamento dos impactos depende do objetivo e escopo já definido, podendo esses últimos serem redefinidos, caso haja incoerências.

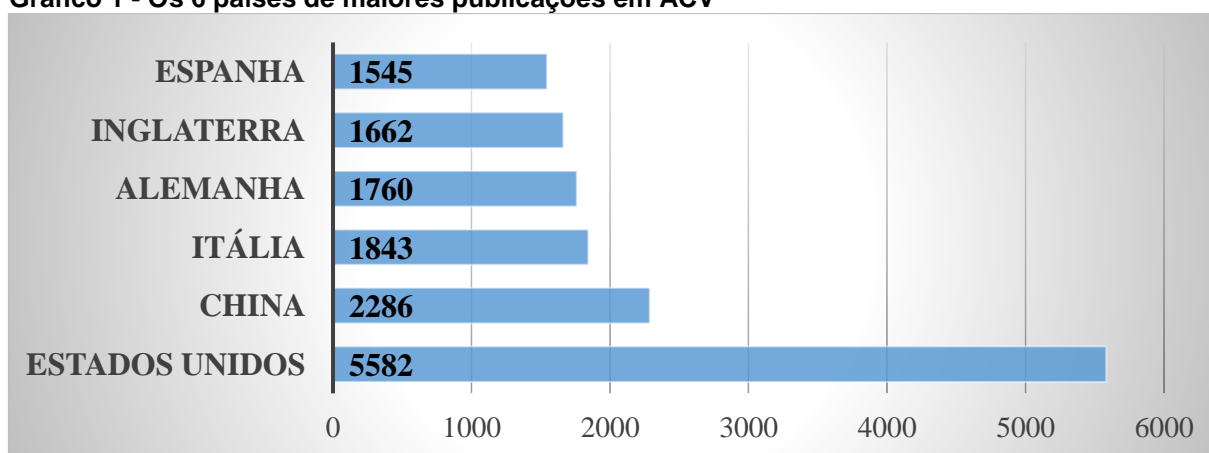
Já a quarta fase da ACV, é a fase da interpretação na norma da ISO 14040 (ABNT, 2009). Nessa fase, as informações obtidas nas fases de ICV e AICV serão interpretadas conjuntamente, a fim de concluir o objetivo da ACV, ser consistente com o planejamento do escopo e apresentar limitações do sistema e recomendações.

2.1.3 Aplicações de ACV: Áreas, Países e Quantidade de Pesquisas

Foram encontradas 24.228 pesquisas em maio de 2018, combinando os termos em inglês para avaliação do ciclo de vida, “*Life Cycle Assessment*” OR “*Life Cycle Analysis*” OR *LCA*, na base de pesquisas científicas da *Web of Science*. Coletando a análise de dados da própria base, 87,9% das pesquisas são relacionadas à área de estudos ambientais e de sustentabilidade, 16,3% das pesquisas ligadas à combustíveis energéticos, 9,7% ligadas à construção e engenharia civil, 6,5% à engenharia química, 3,8% à biotecnologia e 3,4% às múltiplas disciplinas de ciência dos materiais.

Quanto aos países de maiores publicações estão: Estados Unidos com 23% do total das pesquisas, China com 9,4% e Itália com 7,6%. O Brasil está em 15º com 2,4% do total de pesquisas. O gráfico 1 ilustra os 6 países com maiores publicações.

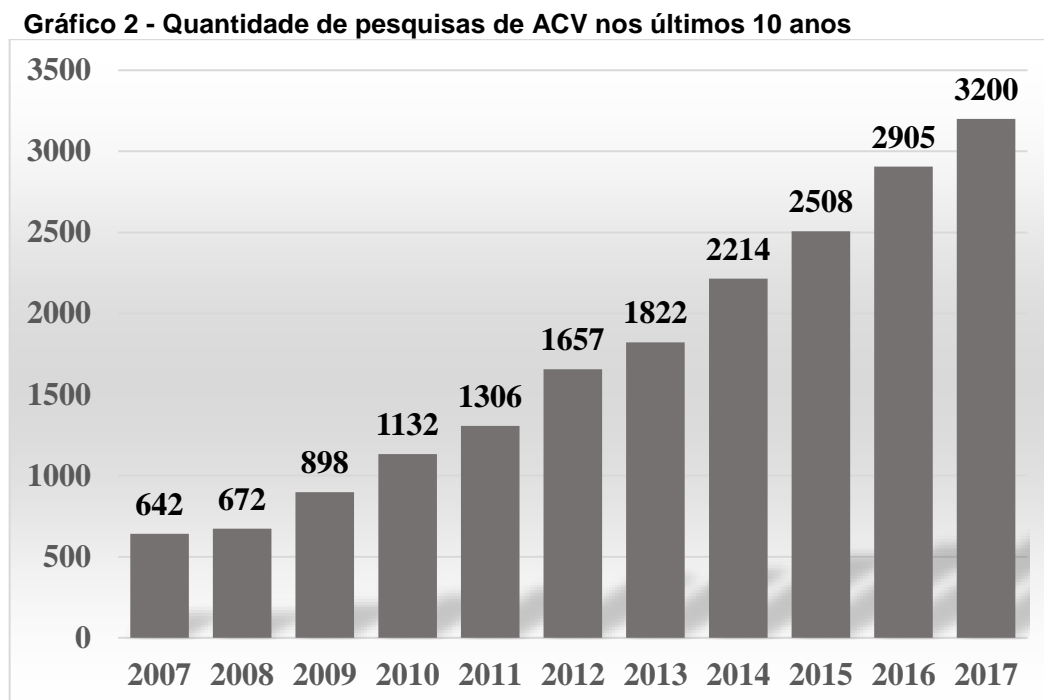
Gráfico 1 - Os 6 países de maiores publicações em ACV



Fonte: Adaptado da *Web of Science* (2018)

Quanto aos anos de publicações coletados na base do *Web of Science*, foi verificado os 10 últimos anos, de 2007 a 2017, sendo que em 2007 foram 642 pesquisas, em 2010 foram 1.132, em 2015 foram 2.508 e em 2017 foram 3.200

pesquisas. O gráfico 2 ilustra o crescimento do número de pesquisas ao longo dos anos:



Fonte: Adaptado da *Web of Science* (2018)

Como avaliado, existe uma tendência de crescimento no número de pesquisas de ACV ao longo dos anos. Para continuar os estudos sobre a integração das técnicas, é observado também as definições, aplicações e metodologias de CCV.

2.2 CUSTO DO CICLO DE VIDA

Assim como ACV, definições, estruturas e aplicações por outros autores também é necessário para CCV. Devido aos diversos meios de abordagens de CCV, foi feita uma análise de algumas metodologias usadas por autores relevantes do tema.

2.2.1 Definição e Estrutura

Alguns autores têm definido o custo do ciclo de vida (CCV) ao longo dos anos. Brown (1979) define que o custo do ciclo de vida, chamado por *Life Cycle Costing*, é um método para calcular todo o custo envolvido no tempo de vida de produtos

industriais. Definição semelhante foi dada por Sherif e Kolarik (1981) que define o custo de ciclo de vida como sendo uma análise de todo o custo agregado do produto, desde a concepção até a disposição final. Para Woodward (1997) CCV são os custos da aquisição, operação e manutenção de todos os elementos utilizados no ciclo de vida de um produto.

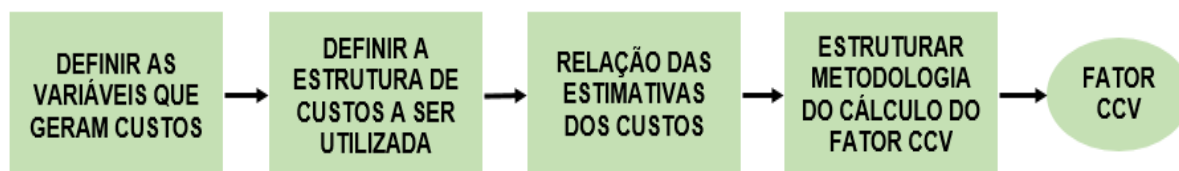
Autores em períodos mais recentes também definem CCV. Deutsch (2010) define CCV como sendo todo custo de operação e preços de compras de aquisição de matéria-prima de produtos durante todo o tempo de vida do produto final. Para Marquez et al. (2008) o CCV pode ser estimado em valor único para comparação, que vai ser composto pelo investimento inicial e custos operacionais desde a especificação dos requerimentos até o final do ciclo de vida do produto. Com esse valor único proposto pelo CCV, uma melhor tomada de decisão para a escolha de diferentes investimentos de projetos pode ser feita (GLUCH e BAUMANN, 2004).

Quanto a estrutura do CCV, Elyamany e El-Nashar (2016) utilizam custos desde a concepção até o fim de vida do produto. Os custos considerados em cada método são: preço de aquisição de matéria-prima, custos de instalação, manutenção, operacionais, e de atualização, além do valor residual no fim da vida útil. Todos os custos são somados e transformados no fator CCV que será utilizado nos quatro métodos econômicos de avaliação: valor presente líquido, taxa de custo/benefício, taxa interna de retorno e período de retorno (*pay back*).

Woodward (1997) explica que, apesar de ser relevante, muitas empresas não calculam o custo na concepção da ideia do produto, sendo que existem muitos benefícios na projeção do fluxo de caixa desde a fase inicial de projetos, utilizando o método do valor presente das projeções. O autor propõe uma estrutura de fases de um cálculo de CCV. A primeira fase é a definição de todos os custos de elementos do ciclo de vida, ou seja, mencionar as variáveis do sistema que implicarão em algum valor monetário, mesmo que futuramente. A segunda fase é a definição da estrutura de custos, que é o agrupamento de custos, de acordo com suas categorias, como por exemplo, custos de pesquisa e desenvolvimento, custo de produção e implementação, custo de operação e reciclagem, etc. A terceira fase é a relação das estimativas dos custos, que é uma expressão matemática que relaciona um custo de um item em função de variáveis independentes, do qual será calculado o fator CCV. A fase final é a definição do método utilizado para a avaliação, que é a definição de etapas de todo

o cálculo do CCV para um produto ou uma máquina. Na Figura 1, é possível observar, sequencialmente, a estrutura de fases.

Figura 1 - Estrutura de fases de um CCV

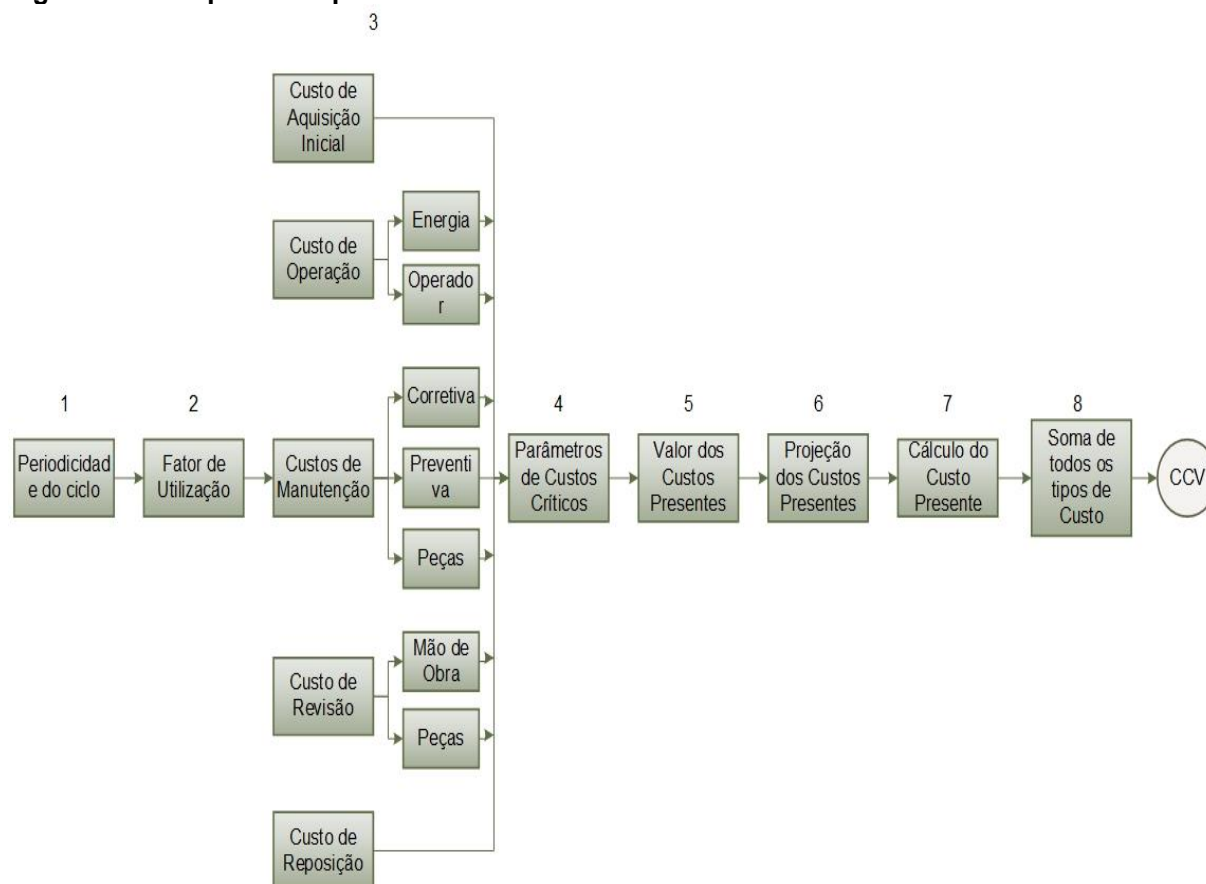


Fonte: Adaptado de Woodward (1997)

Woodward (1997) ainda apresenta um exemplo de método de organização para a quarta fase, baseado em 8 passos para calcular o fator CCV. Como exemplo, o autor utiliza uma máquina que realiza um processo de produção. O passo 1 é a determinação da periodicidade do ciclo em questão, ou seja, a vida útil da máquina, por exemplo, 20 anos. Passo 2 é o fator de utilização, que é o período em que realmente a máquina estava em funcionamento. Passo 3 são os custos de utilização, por exemplo, custo de aquisição, de operação (eletricidade, água, operador), manutenção, de revisão e reposição. Passo 4 são os parâmetros de custos críticos, ou seja, tempo de máquina parada que gera custo, energia elétrica não consumida, entre outros. O passo 5 é o cálculo de cada tipo de custo em valor presente. O passo 6 é a projeção futura de custo com o acréscimo de novas taxas, por exemplo, a inflação. Tendo a projeção do custo futuro, novamente o custo é calculado para o valor presente, sendo este o passo 7. O passo 8 e final é a soma de todos custos calculado para cada tipo, resultando no fator CCV. O esquema da sequência dos passos é apresentado na Figura 2, com o número de cada etapa sob os blocos. O bloco 3 é dividido por vários tipos de custos que serão modificados nas etapas subsequentes.

De Menna et al. (2018) realizaram uma pesquisa de CCV aplicada na gestão de desperdícios. Na pesquisa, alguns métodos para avaliação de CCV que usam diferentes parâmetros de comparação também foram observados em outras pesquisas, como por exemplo: custos de fatores externos e benefícios, análise de equilíbrio, portadores de custos, valor agregado, valor presente líquido, taxa de retorno de investimento, margem de receitas e taxa de custo/benefício.

Figura 2 - Exemplo de etapas do cálculo de CCV



Fonte: Adaptado de Woodward (1997)

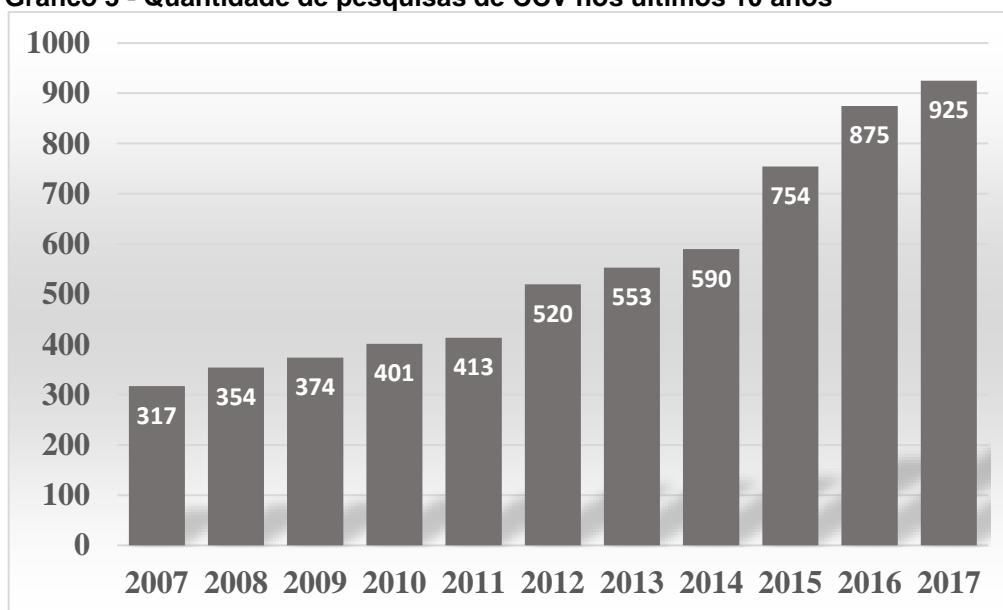
Van Den Boomen et al. (2018) apresentaram uma metodologia para aplicação de CCV, sendo o fator final de CCV calculado, primeiramente, pelo valor presente de todos os futuros custos do projeto, após, o cálculo do custo anual equivalente, podendo ou não, ser somado o custo do investimento inicial. Para os autores, o valor do dinheiro no tempo tem grande relevância no método, visto que o ciclo de vida pode ter longa duração. A expressão matemática proposta por Van Den Boomen et al. (2018) é representada pela fórmula 1:

$$\begin{aligned}
 CCV \text{ total} &= \text{custo anual equivalente de cada ciclo de vida} \\
 &+ \text{investimento inicial} \quad (1)
 \end{aligned}$$

2.2.2 Aplicações de CCV: Áreas, Países e Quantidade de Pesquisas

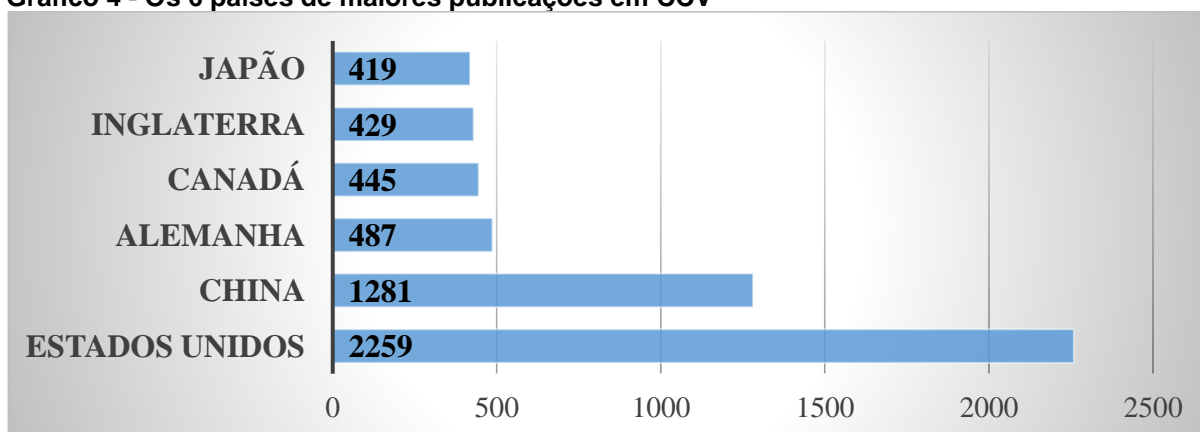
Foram encontradas 8.920 pesquisas em maio de 2018, combinando o termo ou sigla em inglês do custo do ciclo de vida, “*Life Cycle Cost*” OR *LCC*, na base de pesquisas científicas, *Web of Science*. O termo pode ser custo ou custeio do ciclo de vida, por isso o uso do “*” adicionado ao termo. Na análise dos resultados oferecida pela própria base, foi encontrado 27,6% do total de pesquisas na área de engenharia e tecnologia de construção civil, 18,1% na área de estudos ambientais e de sustentabilidade, 16,5% em engenharia elétrica ou eletrônica, 14,7% em pesquisas ligadas à combustíveis energéticos, 8,1% à engenharia mecânica, 5,8% à engenharia industrial e 5% às múltiplas áreas de ciências de materiais. Quanto aos períodos de maiores quantidades de pesquisas, coletados também na base do *Web of Science*, nota-se maior número de pesquisas nos últimos três anos, representado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Quantidade de pesquisas de CCV nos últimos 10 anos



Fonte: Adaptado da *Web of Science* (2018)

Já em relação aos países, apenas dois países têm grande número de publicações, comparado aos demais. É contabilizado 28,7% do total das pesquisas para os Estados Unidos e 14,4% para a China. O Brasil está 20º com apenas 1,2% do total das pesquisas. O Gráfico 4 ilustra a quantidade de estudos dos 6 primeiros países na classificação.

Gráfico 4 - Os 6 países de maiores publicações em CCV

Fonte: Adaptado da *Web of Science* (2018)

Apesar de quantidades bem diferentes de pesquisas, os estudos de ACV e CCV ainda apresentam semelhanças em relação às áreas de aplicação e países predominantes. Contudo, essa avaliação deve ser ampliada para a aplicação das técnicas em conjunto.

2.3 CCV E ACV APLICADOS EM CONJUNTO

Esta seção objetiva apresentar uma relação da definição do custo do ciclo de vida em estudos de avaliação do ciclo de vida. Busca-se na literatura uma integração dos dois temas para observar a relevância da integração, benefícios e alguns métodos aplicados em estudos de casos de diferentes áreas.

2.3.1 Relevância e benefícios da Integração

Embora ACV forneça informações vantajosas quanto performance ambiental e impactos ambientais, não considerar informações de custo pode gerar uma visão menos geral e a perda de uma tomada de decisão mais coerente durante todo o ciclo de vida (WARREN e WEITZ, 1994). Enquanto ACV fornece informações de atributos ambientais, o estudo de custos integrado no ciclo de vida gera maior poder de tomada decisão em métricas que executivos e empresários entendem e valorizam com maior frequência, por exemplo, a métrica do dinheiro (SHAPIRO, 2001). Por isso, grandes empresas, como a *Toyota Motors Sales*, realizam estudos para reduzir impactos ambientais ao mesmo tempo que desenvolvem ferramentas de controle de custo e

financeiras integrados no ciclo de vida, resultando em modelos de sistemas operacionais mais eficientes e sustentáveis (EARLY et al., 2009).

Para calcular, eficientemente, um índice de sustentabilidade em seus três pilares: ambiental, social e econômico, Klöpffer e Citroth (2011) utilizam uma expressão, representada pela fórmula 2:

$$LCSA = LCA + LCC + SLCA \quad (2)$$

Onde,

LCSA = Life Cycle Sustainability Assessment

LCA = Life Cycle Assessment

LCC = Life Cycle Cost

SLCA = Social Life Cycle Assessment

Sendo *LCSA* a sigla em inglês para avaliação do ciclo de vida da sustentabilidade igual ao somatório de *SLCA*, avaliação social do ciclo de vida, com as parcelas ambientais e econômicas também dentro do ciclo de vida. Portanto, ainda segundo os autores da expressão, a integração do CCV com ACV é relevante para uma maior mensuração do grau de sustentabilidade de corporações.

Outra relevância significativa comentada por Shapiro (2001), é que quando uma corporação deve escolher entre dois projetos ambientalmente sustentáveis, uma rigorosa análise de recursos de capital não será deixada sem consideração, visto essa comparação entre projetos ecologicamente sustentáveis com as finanças da empresa e retornos de investimentos, o que torna a integração do CCV e ACV ainda mais coerente.

2.3.2 Integrando CCV e ACV

Assim como visto em tópicos anteriores, o custo do ciclo de vida tem diferentes metodologias de aplicações. Naturalmente, a integração de CCV e ACV também possui diferentes metodologias, como é possível observar na literatura. Shapiro (2001) apresenta a integração como contabilidade ambiental. Usando-se do conceito do inventário do ciclo de vida, todos os produtos e recursos utilizados no ciclo

de vida, devem ser, primeiramente, identificados, analisados e reportados. Todos esses fluxos de materiais identificados devem ser quantificados monetariamente e classificados em custos externos e internos. Os custos internos também são divididos em custos convencionais da empresa e custos indiretos. Todos os custos são mencionados ao longo do fluxo dos processos, assim como existe um fluxo do ciclo de vida, o que propicia a mensuração ambiental e de custos, em tempo real, ao longo do ciclo de vida. Quanto aos custos externos, o autor comenta que devem ser projetados custos como: Descargas de poluição ao ar e à água, mensurados por fatores poluentes por unidade monetária, competitividade internacional e custos de responsabilidade, presente em padronização normativa ambiental, certificações ambientais, e outras ações com *stakeholders*.

Warren e Weitz (1994) ampliam a categorização de custos indiretos e diretos em 3 tipos de custos: convencionais, ambientais e de responsabilidade. Porém, mantém a mesma estrutura de analisar o inventário do ciclo de vida, com os *inputs* e *outputs*, e a fronteira do ciclo de vida, que são todos estágios, como concepção, processos de produção, transporte e distribuição e final do ciclo de vida. Dentro desse novo tipo de categorização, estão inclusos em custos convencionais: equipamento, mão de obra, energia, manutenção, controle de efluentes, desperdícios, além de taxas especiais, como seguro. Dentro dos custos ambientais, estão custos mais preventivos, como por exemplo: poluição, deposição de ácidos, alteração do ecossistema, efeitos na saúde da comunidade local, entre outros. Já os custos de responsabilidade incluem custos de penalidades, danificações de propriedade e imagem pública, e ações de responsabilidades sociais e ambientais. O total do CCV é o somatório das 3 categorias de custos.

A literatura também apresenta incertezas em calcular CCV, o que afetaria a integração com ACV. Segundo Ilg et al. (2017), uma das causas das incertezas do cálculo de um fator para CCV é por causa da imprecisão das previsões de custo. Isso se deve a complexidade e o longo tempo de ciclo de vida de alguns tipos de projetos de engenharia. Para agregar isso, o autor explica que os impactos das incertezas devem ser identificados e considerados no cálculo. Dentro desse contexto de incertezas, algumas outras ferramentas podem ser acrescentadas junto com a integração de CCV e ACV. Algumas ferramentas apresentadas pelo autor: Análise de sensibilidade, análises probabilísticas e possibilistas, métodos determinísticos, além do uso de softwares de computação.

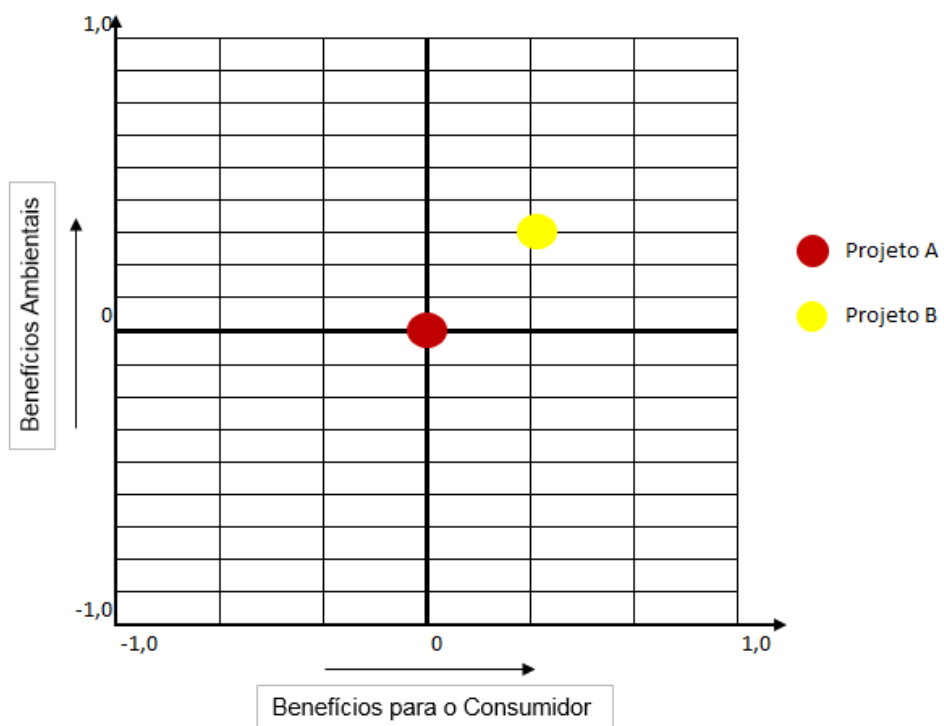
Usando a programação para minimizar incertezas e otimizar projetos que utilizam mais de um objetivo, como no caso de CCV e ACV, Akbar e Mokhtar (2017) propõem uma programação de otimização por múltiplo-objetivos. Essa programação linear agrega os critérios utilizados como fatores de impacto econômico e ambiental, buscando atingir a otimização dos dois critérios.

Ameli e Mansour (2017) comentam que os projetos devem ser analisados desde a concepção do *design*, pois a arquitetura do produto pode interferir em todos os critérios do ciclo de vida. Como metodologia de CCV e ACV integrados, os autores utilizam um modelo matemático para programação linear que tem como função objetivo a minimização dos custos, baseado na multiplicação de fatores de impactos econômicos e ambientais, sendo o último calculado por emissões de dióxido de carbono equivalente. Ainda dentro do modelo matemático, existe os limites que os impactos podem ter, que dependem da legislação local ou nacional do país onde a pesquisa está sendo feita.

Auer et al. (2017) apresentam uma metodologia de CCV e ACV chamada de sistema ECM, *Eco-Care-Matrix*, que também tem como objetivo demonstrar potenciais de impacto e seus principais componentes responsáveis em formato de diagrama. Usando como fator de CCV, os pesquisadores utilizaram uma estrutura de repartição de custos, que busca analisar o custo/benefício em função de período de pagamentos de componentes, como por exemplo, o custo de energia total empregada na fronteira do sistema. Já como fator de ACV, os pesquisadores utilizaram: potencial de eutrofização, potencial de aquecimento global e potencial de acidificação. Montando a *matrix*, o eixo X representa os benefícios do consumidor (resultado da comparação do CCV) e o eixo Y representa os benefícios ambientais (resultado da ACV). Os melhores cenários para opções de sistemas são colocados juntos, em forma de pontos dentro da *matrix*. A Figura 3 ilustra um exemplo de *Eco-Care-Matrix*.

Visto que a literatura não apresenta uma metodologia única de integração de CCV e ACV, é relevante continuar os estudos de métodos e ferramentas que considerem fatores de impactos econômicos e ambientais em diferentes estudos de casos para a utilização de apenas um índice de sustentabilidade, que será usado como modelo de comparação entre diferentes projetos, evitando, assim, *trade-off* entre questões econômicas e ambientais.

Figura 3 - Exemplo de uma *Eco-Care-Matrix*



Fonte: Adaptado de Auer et al. (2017)

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a classificação, delimitação e os procedimentos metodológicos da pesquisa proposta por esse trabalho. O método adotado deve atender os objetivos gerais e específicos propostos nas seções 1.2 e 1.3, além de basear-se na pesquisa teórica coletada no capítulo 2. Após a apresentação deste capítulo, foram obtidos os resultados, os quais são baseados nas etapas da pesquisa proposta, a fim de analisar e responder a pergunta problema do tema apresentada.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa tem por finalidade analisar e avaliar a literatura relacionada ao tema, sendo uma pesquisa de característica analítica, que busca estudar ferramentas e metodologias nos artigos científicos encontrados por métodos sistêmicos de levantamento bibliográfico, a fim de descobertas e aprimoramento de ideias. Portanto, a abordagem caracterizou-se, majoritariamente, por uma pesquisa qualitativa de dados, na qual buscaram-se descrições explicativas da integração das variáveis da pesquisa: Avaliação do Ciclo de Vida, Custo do Ciclo de Vida e *trade-off* (GIL, 2002).

Os resultados procurados foram ferramentas de análise qualitativa e quantitativa, que foram usados para atingir o objetivo do trabalho, e podem ser replicados para futuras pesquisas e melhorias em processos produtivos, serviços ou outras áreas. Para a busca dos artigos e a revisão literária, um método sistêmico por combinações de palavras-chave nas bases de pesquisa e seleção foi necessário.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Como a metodologia visou obter uma revisão da literatura, os procedimentos de toda a pesquisa desse trabalho foram separados por etapas e alcançando o maior número de publicações relacionadas ao tema. Para atender isso, uma limitação ampla de período, 1945 a 2018, foi pesquisada nas bases de estudos em julho de 2018. Este

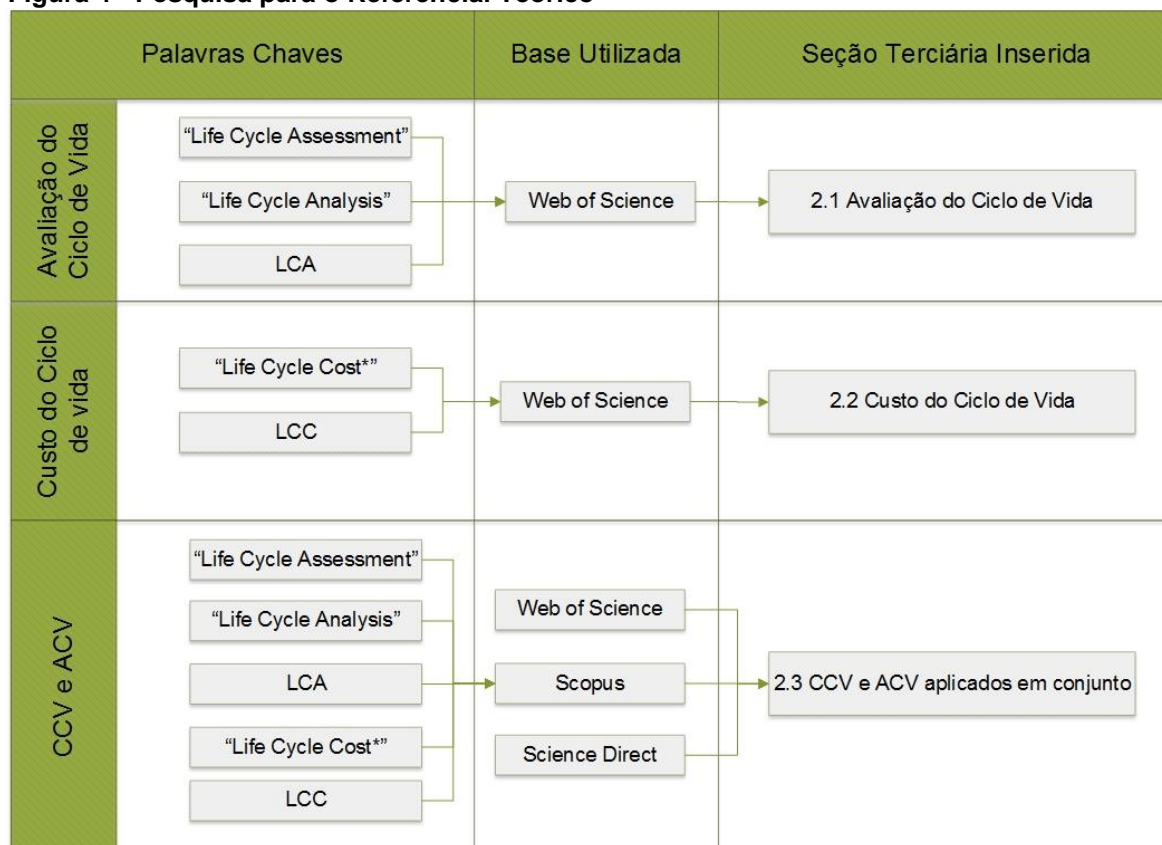
período foi utilizado devido as próprias limitações da base de estudos, que fixa o tempo mínimo em 1945. Outros padrões para a pesquisa, como a não delimitação da região e nem da área de aplicação também foram adotados. Portanto, buscaram-se publicações das mais diversas áreas de aplicação, além dos mais diversos países publicados.

Para ter uma grande quantidade de pesquisas, foram utilizadas 3 bases de publicações. As bases utilizadas nesse trabalho foram: *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*. A escolha das bases foi feita por maior relevância e maior quantidade de arquivos, revistas e pesquisas publicadas, sendo, portanto, bases de pesquisas internacionais com conteúdo publicado apenas na língua inglesa.

3.2.1 Procedimentos para o Capítulo 2 – Referencial Teórico

A Figura 1 representa o fluxo das palavras-chave, em qual base foi buscada e qual seção foi utilizada.

Figura 4 - Pesquisa para o Referencial Teórico



Fonte: Autoria própria (2018)

Para a busca de pesquisas do referencial teórico do Capítulo 2, foram utilizados artigos com as combinações dos termos em inglês das variáveis, avaliação do ciclo de vida (ACV) e o custo do ciclo de vida (CCV). Para cada seção secundária, ou seja, as seções explicando as variáveis da pesquisa separadamente e integrados, foi utilizada uma combinação de palavras diferente de busca nas bases. O fluxo de palavras-chave apresentado foi usado para a pesquisas utilizada na Seção 2, Referencial Teórico. Já para a pesquisa e montagem da coleção de pesquisas, utilizadas para o estudo do tema, foram utilizados outros procedimentos.

3.2.2 Procedimentos para a Coleção de Pesquisas

Já para a coleção de pesquisas que foi utilizada como resultados do estudo da literatura, uma maior preocupação nos dados coletados foi adotada. Isso porque dependendo da combinação de palavras-chave, muitas publicações não relevantes ao tema são obtidas. Assim sendo, a utilização da palavra-chave *trade-off* foi crucial para atingir o objetivo dessa pesquisa, juntamente com as variáveis CCV e ACV, que foram aplicadas como técnicas integradas. Outra preocupação, foi restringir as publicações somente aos artigos científicos de revisão literária ou estudo de casos, visto que se buscaram publicações mais aplicáveis nas mais diversas áreas.

A adoção de etapas por objetivos específicos foi fator determinante para o sucesso da pesquisa. A Figura 5 tem como objetivo apresentar as etapas, de acordo com cada objetivo específico proposto. Para organizar as etapas, uma sequência de atividades por etapa foi feita.

A etapa 1 é a coleta de dados. Através dela, buscou-se usar as bases utilizando as palavras-chave de maior relevância para a pesquisa, que são: “*trade-off*”; “*Life Cycle Assessment*” ou “*Life Cycle Analysis*” para ACV; “*Life Cycle Cost**” para CCV. A variação da palavra-chave para ACV acontece porque encontrou-se os tópicos nas formas de Avaliação ou Análise do Ciclo de vida. Já o uso de “*” para CCV foi porque ao invés de custo, encontrou-se na literatura o tópico custeio do ciclo de vida, o que muda *Cost* para *Costing*. Não foram utilizadas as siglas em inglês para a busca, pois acreditou-se que os autores que usam as siglas, também usam os termos completos no título ou resumo das pesquisas. A coleção de apenas artigos publicados

de revisão literária e estudos de casos foi buscada nas bases: *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*.

Figura 5 - Etapas das pesquisa

| ETAPAS DA PESQUISA | | | |
|--|--|---|---|
| Etapas | Descrição | Atividades | Resultados |
| 1- Coleta de Artigos | Usar bases para obter coleção de artigos científicos relacionado ao tema da pesquisa | 1- Planejar quais informações são necessárias para o TCC em planilha | Obter coleção de publicações que integram as técnicas de CCV e ACV, além de incluírem <i>trade-off</i> entre abordagens econômicas e ambientais |
| | | 2- Usar bases de dados para a coleta e incluir artigos em gerenciador de referências para exclusão dos repetidos e não-relevantes para a pesquisa | |
| | | 3- Montar a coleção de artigos que foram utilizadas para análise de resultados | |
| 2- Estudar Artigos | Ler artigos e preencher planilha excel com os dados necessários | 4- Ler todos os artigos da coleção da pesquisa | Preencher planilha com dados de artigos, como: características dos artigos estudados, características quanto a ACV e CCV e metodologias de integração |
| | | 5- Transferir dados dos artigos para planilha Excel | |
| 3- Categorizar a Pesquisa | Preencher planilha Excel os dados e construir tabelas para os resultados | 6- Finalizar planilha Excel com todos o resultados necessários | Planilha preenchida completamente e construção de quadros, tabelas, gráficos e figuras dos resultados |
| | | 7- Apresentar ilustrações que serão usados na Seção 4, Resultados | |
| 4- Análise Crítica dos Resultados | Análise Crítica das pesquisas de CCV e ACV integrados para responder a pergunta problema do trabalho | 8- Análise crítica dos resultados, avaliando como os resultados respondem a pergunta problema | Estudo crítico completo de como CCV e ACV integrados minimizam <i>trade-off</i> entre questões ambientais e econômicas |

Fonte: Autoria própria (2018)

Após a busca nas bases com as palavras-chave, foram encontradas 102 pesquisas, sendo todas adicionadas a um gerenciador de referências para a exclusão de artigos repetidos e não relevantes à pesquisa. A quantidade de artigos, por base, totalizou:

- *Web of Science*: 20 resultados;
- *Scopus*: 59 resultados;
- *Science Direct*: 23 resultados.

Foram excluídos artigos repetidos e artigos de conferências, visto que o caráter de resultados buscados são pesquisas publicadas em periódicos internacionais. Para análise de relevância dos artigos foram observados títulos, palavras-chave e resumo de cada artigo. Após essa análise, restaram 39 artigos com relação ao tema estudado. Esses artigos compõem a coleção de pesquisas do estudo.

A etapa 2 consiste em estudar os artigos da coleção, ou seja, construir quadros, gráficos e tabelas que analisem as áreas de aplicação das pesquisas, os países e autores de maiores estudos do tema, além de acompanhar o crescimento ou decréscimo da quantidade de pesquisas durante os anos. Esses resultados foram buscados manualmente, com a leitura de todos os artigos da coleção adquirida e classificadas com o auxílio de uma planilha eletrônica. A descrição dos critérios para a coleta de dados será apresentada na subseção seguinte.

A etapa 3 é composta pela análise categórica da coleção de pesquisas. Buscou-se analisar as mais variadas metodologias de impacto aplicadas em produtos, processos e serviços durante todo o ciclo de vida. Essas metodologias devem ser aplicadas de acordo com os princípios e estruturas de uma ACV, referenciados na seção 2.1.2 desse trabalho.

A etapa 4 é a análise crítica das metodologias de integração entre CCV e ACV que geram fator único de impacto. É analisado como a integração evita o *trade-off* das abordagens ambientais e econômicas, através de técnicas complementares aplicadas em conjunto. Além disso, com a leitura completa de todos os artigos da coleção, comentários sobre orientações de novas pesquisas serão feitos para auxiliar organizações que lidam com sustentabilidade na sua rotina de trabalho.

3.2.3 Procedimentos para montagem da planilha eletrônica

Para coletar os dados necessários dos artigos, critérios e parâmetros tiveram de ser adotados nas leituras. A cada leitura de artigo, os dados necessários foram preenchidos em uma planilha eletrônica, a fim de concentrar os dados, facilitar a visualização e comparação, além de propiciar a montagem de quadros e gráficos.

Os critérios adotados para filtragem de dados foi a separação em tópicos: características do artigo, características quanto a ACV, características quanto a CCV e integração. Todos os critérios e características buscadas nos artigos foram

discutidas e revisadas com especialistas do tema, todos localizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no Campus Ponta Grossa.

3.2.3.1 Características dos Artigos

Nesse critério, 12 colunas foram utilizadas para concentrar informações:

- Identificação: É a numeração e referência do artigo;
- Autores: Todos os autores foram mencionados, a fim de buscar os autores mais frequentes do tema;
- Ano: Quantidade de artigos durante os anos;
- Universidade: Quais e se existem universidades que tem pesquisado frequentemente sobre o tema;
- País de origem da pesquisa: Relacionado à universidade ou entidade do primeiro autor, significa de onde teve início a pesquisa;
- País de aplicação da pesquisa: Verificar um padrão das localidades de aplicação dos estudos de casos;
- Periódicos: Verificar quais periódicos possuem maior quantidade de publicações;
- Fator de Impacto: Buscou-se o Journal Citation Reports (JCR), um fator que mede a relevância dos periódicos internacionais, com base no ano de 2017.
- Palavras-Chave: Esse critério foi de grande importância, pois verifica quais termos estão sendo buscados juntos com ACV e CCV, portanto, as palavras-chave do tema não foram acrescentadas;
- Área: Aplicação do estudo, foram identificadas áreas do setor industrial, construção civil, gestão de resíduos, acadêmica, etc;
- Tipo do estudo: Podendo ser estudo de caso, proposta de metodologia e revisão literária;
- Caso do Estudo: Explica brevemente os estudos.

3.2.3.2 Características de ACV

O objetivo foi analisar se os artigos da coleção baseavam o estudo de ACV na norma ISO 14040:2009, com a estrutura e princípios citados na Seção 2.1.2, bem como outros parâmetros, como:

- Método de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV);
- Categorias de Impacto;
- Fronteiras do sistema (ex: Cradle-to-gate, Gate-to-gate; Cradle-to-grave, etc);
- Qual *software* utilizado;
- Motivo de aplicação de ACV no estudo.

3.2.3.3 Características de CCV

Já para CCV, como ainda não existe uma padronização ISO para estruturação de metodologia usada em todas as áreas, o objetivo principal foi observar as metodologias utilizadas para contabilizar um fator de impacto. Outros critérios também foram analisados, como:

- Origem dos dados monetários;
- Se utilizou ou não algum *software* para compilar os dados;
- Aplicação dentro de ACV, ou seja, se utiliza o mesmo sistema para ambas as técnicas;
- Motivo de aplicação de CCV no estudo.

3.2.3.4 Características da integração das técnicas

Sendo o objetivo principal desse estudo, foram coletados os dados dos artigos referente às metodologias utilizadas para integrar ACV e CCV, além de verificar como essas metodologias evitaram *trade-off* entre as abordagens do estudo. Outros critérios também foram observados, como:

- Ressaltou mais ACV ou CCV no estudo;
- Valorizou majoritariamente a integração de ACV e CCV;
- Discute *trade-off* entre abordagem econômica e ambiental ou outras abordagens;
- Técnicas, *softwares* e conceitos aplicados em conjunto com a integração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

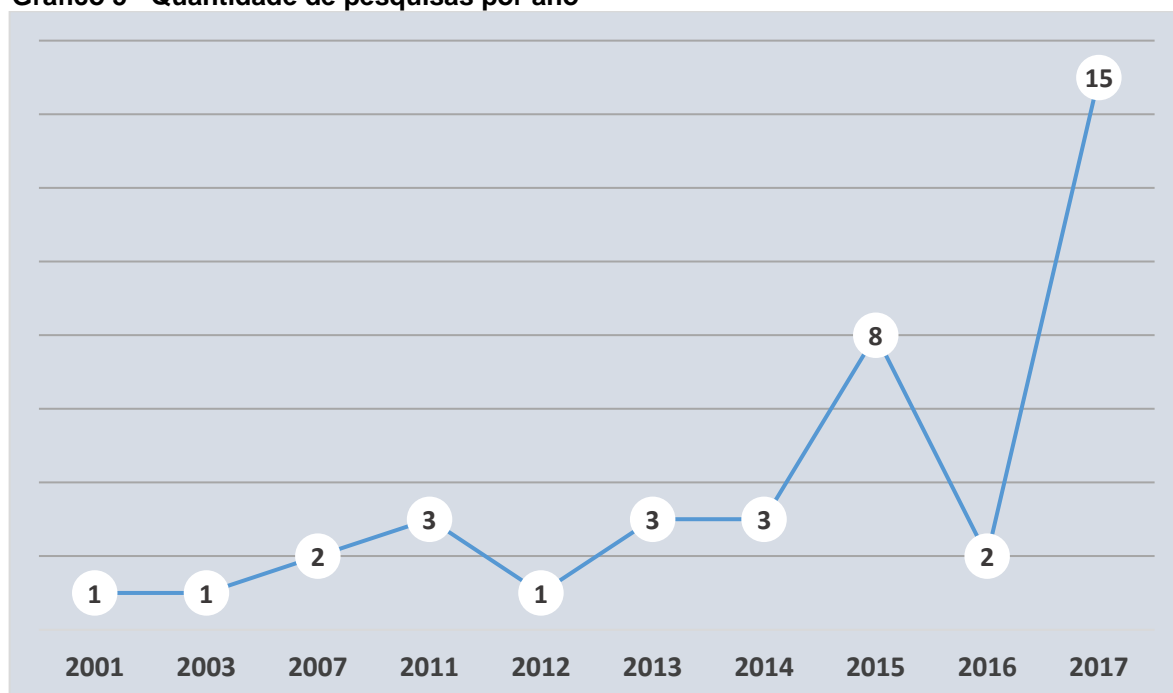
A partir desta seção, os resultados, discussão e conclusão do estudo são feitos. Buscou-se responder os objetivos específicos e geral apresentados na seção 1, bem como discutir os resultados, a fim da aprendizagem e orientação do tema.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ARTIGOS DA COLEÇÃO

Numerados de 1 a 39, o Quadro 1 apresenta a coleção de artigos científicos encontrada na pesquisa de revisão literária, apresentando referência, case do estudo, a área da pesquisa e o tipo de artigo.

Com base no Quadro 1 e na seção Referências, é possível obter resultados com relação a quantidade de pesquisas por ano, os principais autores, e a maior frequência de periódicos que publicaram as pesquisas. O Gráfico 5 representa a variação de pesquisas durante os anos.

Gráfico 5 - Quantidade de pesquisas por ano



Fonte: Autoria própria (2018)

Quadro 1 - Coleção de Artigos

| ID | Referência | Case | Tipo do Estudo | Área |
|----|-------------------------------------|--|---|---------------------|
| 1 | ALBRECHT et al., 2013 | Análise e Comparação de performance sustentável de tipos de embalagens para transporte de frutas e verduras na Europa | Estudo de Caso | Logística |
| 2 | AMELI, MANSOUR e AHMADI-JAVID, 2017 | Proposta de programação matemática na fase de design do produto para reduzir impactos econômicos e ambientais em uma indústria automobilística iraniana | Proposta de metodologia / Estudo de Caso | Industrial |
| 3 | BASBAGILL, FLAGER e LEPECH, 2014 | Aplicação de um método multicritério para entender e avaliar os impactos ambientais e de custo no design de edificações | Proposta de metodologia / Estudo de Caso | Construção Civil |
| 4 | BEST, FLAGER e LEPECH, 2015 | Avaliação de sistemas de gestão de fornecimento e demanda de energia para uma quantidade de prédios, medindo a eficiência do sistema, diminuição de custos e impacto ambiental | Estudo de Caso | Construção Civil |
| 5 | BUYTAERT et al., 2011 | Discute e compara métodos de avaliação de sustentabilidade para o desenvolvimento da produção de energia por biomassa | Revisão Literária | Energia |
| 6 | DAHLBO et al., 2007 | Avaliação de performance ambiental e econômica de opções de destinação de resíduos de jornais antigos | Estudo de Caso | Gestão de Resíduos |
| 7 | DANTHUREBANDARA et al., 2015a | Apresenta uma avaliação ambiental e econômica da valorização de resíduos de tratamento térmico (plasmastone) para mineração de aterro reforçada | Estudo de Caso | Gestão de Resíduos |
| 8 | DANTHUREBANDARA et al., 2015b | Apresenta uma avaliação ambiental e econômica da gaseificação de resíduos sólidos por plasma no contexto da mineração de aterro reforçada | Estudo de Caso | Gestão de Resíduos |
| 9 | DE LUCA et al., 2017 | Revisão literária da combinação das técnicas de ciclo de vida com análise de decisão por multicritérios e outras técnicas na área de sustentabilidade agrícola | Revisão Literária | Agricultura |
| 10 | DORR et al., 2017 | Estudo de caso de agricultura urbana em telhados de prédios em Paris, avaliando ambientalmente e economicamente opções de possíveis sistemas de cultura de substratos | Estudo de Caso | Agricultura |
| 11 | ERCAN et al., 2015 | Apresenta um estudo de caso de performances ambientais e econômicas de vários sistemas de transporte público | Estudo de Caso | Energia / Logística |
| 12 | ESCOBAR et al., 2015 | Avaliação financeira de cenários para a gestão de resíduos de bares, restaurantes, etc. Compara-se os resultados de CCV e ACV (de outro artigo) para observar melhor cenário e os agentes de maior impacto, variabilidade e incertezas | Estudo de Caso | Gestão de Resíduos |
| 13 | FAZENI, LINDORFER e PRAMMER, 2014 | Apresentação de metodologia de <i>Life Cycle Process Design</i> , integrando ACV e CCV na fase de design de uma planta de biorefinaria de resíduos de crustáceos. | Proposta de metodologia / Revisão Literária | Indústria Química |

| | | | | |
|----|-----------------------------------|---|--|--------------------|
| 14 | GRUBERT, 2017 | Discussão de parâmetros do <i>life cycle sustainability assessment</i> , integrando ACV, CCV e avaliação social do ciclo de vida. Testa um modelo (WELFARES) com diferentes indivíduos para avaliar diferentes categorias de impacto | Proposta de metodologia | Acadêmica |
| 15 | HUANG et al., 2017 | Análise da manufatura aditiva, considerando vários critérios para comparar com a manufatura tradicional e aplicação das metodologias em uma indústria de injeção de moldes nos Estados Unidos | Estudo de Caso | Industrial |
| 16 | INOUE e KATAYAMA, 2011 | Avaliação de riscos de custo, consumo de energia e emissão de CO ₂ para quatro tecnologias de remediação de contaminação de solo | Estudo de Caso | Agricultura |
| 17 | ISLAM et al., 2015 | Avaliação de impactos ambientais e econômicos da combinação de telhados e pisos para a construção de uma moradia na Austrália | Estudo de Caso | Construção Civil |
| 18 | LEE e THOMAS, 2017 | Avaliação de impactos do ciclo de vida de caminhões de carga média. São comparados modelos elétricos, híbridos, diesel, biodiesel, etc. Além da observação de <i>trade-off</i> entre as categorias de impacto, o estudo busca observar os processos e etapas de maior impacto | Estudo de Caso | Industrial |
| 19 | LIDICKER et al., 2012 | Estudo de repavimentação de estradas, considerando os efeitos e <i>trade-off</i> dos custos e emissão de gases do efeito estufa | Estudo de Caso | Construção Civil |
| 20 | MAMI et al., 2017 | Estudo de ecoeficiência aplicada à utilização de impressões 3D em componentes aeronáuticos | Estudo de Caso | Industrial |
| 21 | NGUYEN, KURODA e OTSUKA, 2017 | Proposta de integração entre <i>Inclusive Impact Index (Triple I)</i> e avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, com benefícios para o setor de energia/transporte relacionado a uma tecnologia de biodiesel | Proposta de metodologia / Estudo de Caso | Energia |
| 22 | NORRIS, 2001 | Duas formas de integração de ACV e CCV, comentando a importância de se integrar as técnicas para lidar com <i>trade-off</i> no processo de decisão de produtos e projetos | Proposta de metodologia | Acadêmica |
| 23 | PETIT-BOIX et al., 2017 | Revisão literária de como <i>Life Cycle Thinking</i> é aplicado para o urbanismo sustentável. As classes são: edificações, energia, alimento, espaços verdes, mobilidade, água, resíduos e planejamento urbano | Revisão Literária | Construção Civil |
| 24 | PRETEL et al., 2015 | Estudo sobre o <i>trade-off</i> das abordagens ambientais, econômicas e tecnológicas de projetos e operações de bioreatores de membrana anaeróbica, analisando os critérios para benefício de recuperação de energia e tratamento hídrico | Proposta de metodologia / Estudo de Caso | Gestão de Resíduos |
| 25 | QIAN, HUANG e YAN, 2007 | Avaliação ambiental e econômica para um produto químico usado em limpeza de câmaras. Usa análise de decisão por multicritério para chegar em um único índice de comparação de diferentes composições do produto | Estudo de Caso | Industrial |
| 26 | SANTOS, FERREIRA e FLINTSCH, 2017 | Metodologia para avaliar um sistema de suporte de decisão sustentável para tecnologias de pavimentação, incluindo manutenção e reabilitação de rodovias | Proposta de metodologia / Estudo de Caso | Construção Civil |

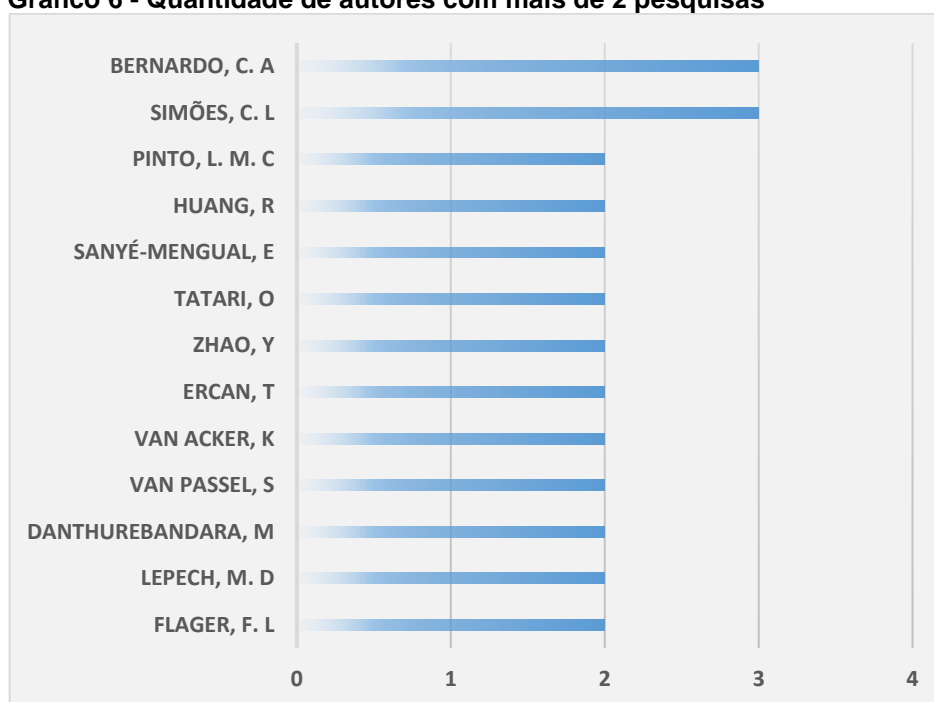
| | | | | |
|----|--------------------------------------|--|--|--------------------|
| 27 | SANTOYO-CASTELAZO e AZAPAGIC, 2014 | Avaliação de sustentabilidade (três pilares) para 11 cenários de sistemas energéticos no México até 2050, identificando potenciais de impacto em todos os pilares | Proposta de metodologia / Estudo de Caso | Energia |
| 28 | SCHMIDT, 2003 | Proposta de metodologia que incorpora CCV em design de produtos, considerando eficiência e melhorias de aspecto ambiental | Proposta de metodologia | Acadêmica |
| 29 | SIMÕES et al., 2016 | Estudo de performance ambiental e econômica de chassis para carros, utilizando três design com materiais de fabricação diferentes | Estudo de Caso | Industrial |
| 30 | SIMÕES, PINTO e BERNARDO, 2013 | Avaliação ambiental e econômica para duas opções de <i>Anti-Glare Lamella</i> , que é um composto feito de polietileno de alta densidade | Estudo de Caso | Industrial |
| 31 | SIMÕES et al., 2013 | Estudo de comparação de dois materiais para fabricação de um tanque de armazenamento. A comparação é feita nas abordagens econômicas e ambientais | Estudo de Caso | Industrial |
| 32 | UMER et al., 2017 | Estudo de comparação entre tecnologias de pavimentação, avaliando impactos ambientais e econômicos integrados | Estudo de Caso | Construção Civil |
| 33 | VAN KEMPEN et al., 2017 | Avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida para produtos de uma cadeia de suprimentos fornecidas para ajuda humanitária | Estudo de Caso | Logística |
| 34 | WANG e ZIMMERMAN, 2015 | Estudo de coleta de água de chuva por prédios comerciais em diferentes cidades dos Estados Unidos, avaliando benefícios ambientais e econômicos | Estudo de Caso | Construção Civil |
| 35 | WU et al., 2017 | Metodologia de avaliação por multicritérios para custo de ciclo de vida e emissão de gases do efeito estufa para componentes prediais que melhoram a eficiência energética | Proposta de metodologia / Estudo de Caso | Energia |
| 36 | ZANGHELINI, CHERUBINI e SOARES, 2017 | Revisão literária de como a análise de decisão por multicritérios tem ajudado os estudos de avaliação do ciclo de vida | Revisão Literária | Acadêmica |
| 37 | ZHANG, 2017 | Estudo que questiona a não contabilização monetária com valor no tempo dos impactos ambientais de curto e longo prazo. Propõe um método para contabilizar impacto ambiental como um custo variável | Proposta de metodologia / Estudo de Caso | Construção Civil |
| 38 | ZHAO, ERCAN e TATARI, 2016 | Estudo de sustentabilidade para melhor performance na utilização de uma frota de caminhões de entrega comercial | Estudo de Caso | Logística |
| 39 | ZHAO et al., 2011 | Estudo de ecoeficiência para o atual sistema de gestão de resíduos em uma cidade da China. Integra ACV e CCV para analisar o sistema atual em comparação com outras alternativas | Proposta de metodologia / Estudo de Caso | Gestão de Resíduos |

Fonte: Autoria própria (2018)

A primeira pesquisa que aborda a integração ACV e CCV, relacionando *trade-off*, é publicada em 2001 por Norris (2001). Após, Schmidt (2003) publica mais uma pesquisa em 2003 e em 2007 foram datadas duas pesquisas, por Dahlbo et al. (2007) e Qian et al. (2007). Portanto, praticamente 90% das pesquisas foram datadas na última década, a partir de 2011. Até 2015 houve crescimento da quantidade, mas em 2016, o número de pesquisas reduziu de oito para duas. Esse decréscimo não acompanha os resultados de quantidades de pesquisas de ACV e CCV separados, já que no mesmo período houve crescimento nos dois. Contudo, em 2017 houve grande crescimento de pesquisas, passando de duas para 15, o recorde máximo de pesquisas. Analisando de modo geral, há uma tendência de crescimento no número total de pesquisas que integram as técnicas.

Para a quantidade de autores analisada, 149 nomes foram identificados, contando os que se repetiram. Apenas dois autores publicaram seus nomes em três pesquisas diferentes, que são SIMÕES, C. L e BERNARDO, C. A. Os dois autores publicaram juntos. Mais 11 autores publicaram duas pesquisas. Esse resultado representa a falta de um pesquisador específico para o tema. O Gráfico 6 apresenta apenas os autores que tiveram mais de duas pesquisas publicadas.

Gráfico 6 - Quantidade de autores com mais de 2 pesquisas



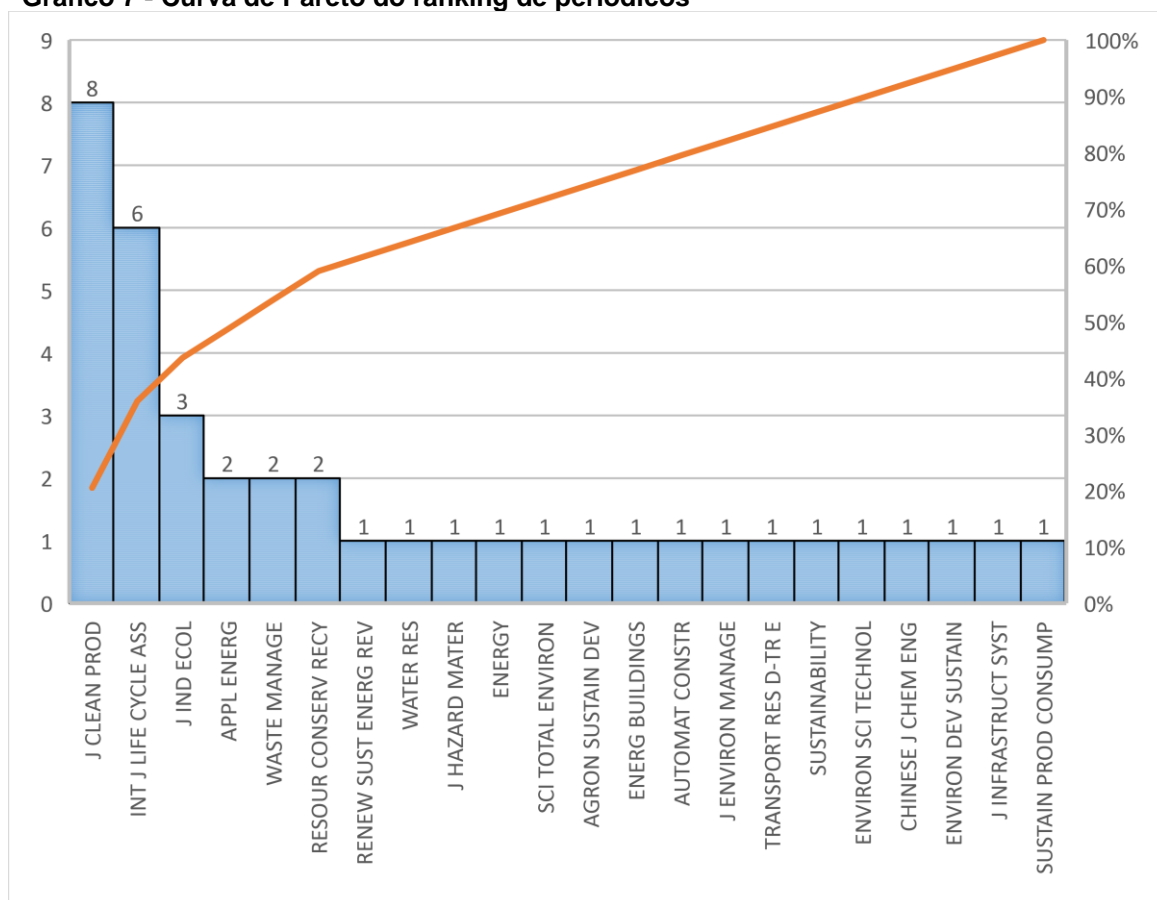
Fonte: Autoria própria (2018)

Foi também realizada a análise dos periódicos da coleção de artigos. No total, foram encontrados 22 periódicos. Os dois periódicos que mais publicaram foram o *Journal of Cleaner Production* e *The International Journal of Life Cycle Assessment*, com 20,5% e 15,4% das publicações, respectivamente. A Tabela 1 apresenta um ranking de todos os periódicos, tendo como primeiro critério a quantidade de publicações e segundo critério, como desempate, o *Journal Citation Reports* (JCR), como já mencionado na subseção 3.2.3.1. Além disso, o Gráfico 7 apresenta uma curva de Pareto, indicando a porcentagem que o *ranking* representa no geral da coleção de artigos. Foi possível observar que considerando apenas os dois primeiros periódicos do ranking, estes representam mais de 35% de todos os periódicos, o que mostra a grande relevância dos primeiros periódicos listados.

Tabela 1 - Ranking dos Periódicos

| Quantidade | Periódicos | JCR |
|------------|---|-------|
| 8 | Journal of Cleaner Production | 5,651 |
| 6 | The International Journal of Life Cycle Assessment | 4,195 |
| 3 | Journal of Industrial Ecology | 4,356 |
| 2 | Applied Energy | 7,900 |
| 2 | Resources, Conservation and Recycling | 5,120 |
| 2 | Waste Management | 4,723 |
| 1 | Renewable and Sustainable Energy Reviews | 9,184 |
| 1 | Water Research | 7,051 |
| 1 | Journal of Hazardous Materials | 6,434 |
| 1 | Energy | 4,968 |
| 1 | Science of The Total Environment | 4,610 |
| 1 | Agronomy for Sustainable Development | 4,503 |
| 1 | Energy and Buildings | 4,457 |
| 1 | Automation in Construction | 4,032 |
| 1 | Journal of Environmental Management | 4,005 |
| 1 | Transportation Research Part D: Transport and Environment | 3,445 |
| 1 | Sustainability | 2,075 |
| 1 | Environmental Science & Technology | 2,037 |
| 1 | Chinese Journal of Chemical Engineering | 1,712 |
| 1 | Environment, Development and Sustainability | 1,379 |
| 1 | Journal of Infrastructure Systems | N / D |
| 1 | Sustainable Production and Consumption | N / D |

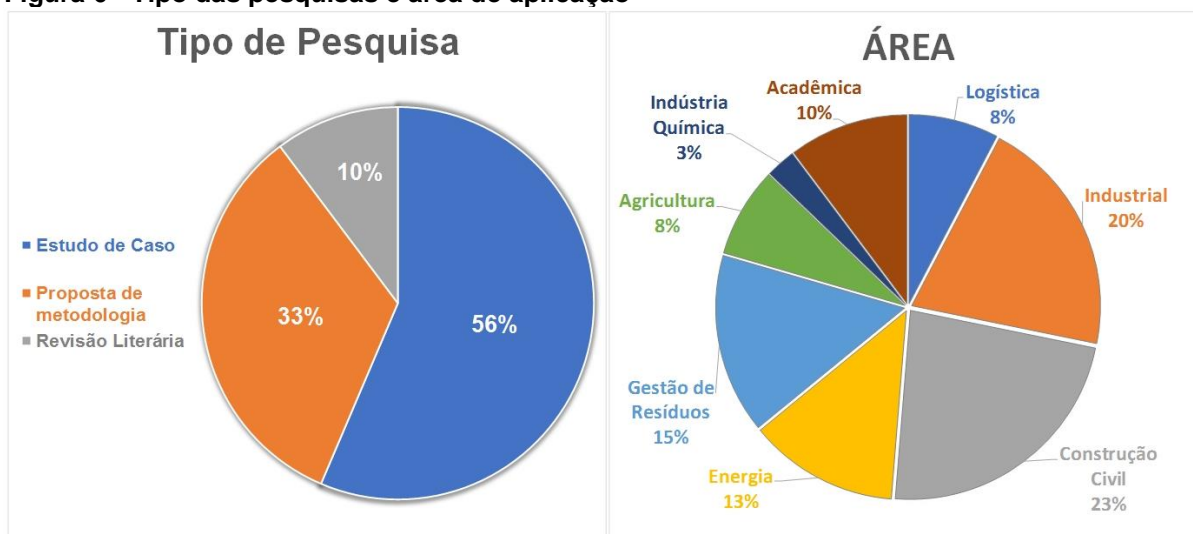
Fonte: Aatoria própria (2018)

Gráfico 7 - Curva de Pareto do ranking de periódicos

Fonte: Autoria própria (2018)

Todos esses resultados anteriores foram possíveis de serem extraídos da seção Referências e do Quadro 1. No mesmo quadro, foram apresentados os dados de tipo de pesquisa e área de aplicação do case do estudo. Para o tipo de pesquisa, três grandes tipos foram identificados: Estudo de caso, proposta de metodologia e revisão literária. Estudos de caso são artigos que tem como característica a aplicação de metodologias, com benefícios ou quaisquer resultados para organizações ou colaboradores da pesquisa. Proposta de metodologia é uma proposta de técnica para aplicação que pode ser própria do autor ou oriunda da soma de outras pesquisas. Alguns artigos apresentaram os dois, ou seja, ambos proposta de metodologia e estudo de caso estiveram presentes na publicação. Nesse caso, foi adotado o pressuposto da categoria predominante, para maior efeito nos resultados gráficos. O mesmo procedimento foi adotado para revisão literária que apresentou proposta de metodologia no mesmo artigo. A Figura 6 apresenta os gráficos resultantes da análise.

Figura 6 - Tipo das pesquisas e área de aplicação



Fonte: Autoria própria (2018)

Para o resultado de tipos de pesquisa, foi observada a predominância de estudos de caso. Nesse tipo, foram identificados 56% dos artigos da coleção com predominância de aplicação de estudo. Quanto a propostas de metodologia, 33% das pesquisas apresentaram essa categoria como predominância. Já as revisões literárias apresentaram, aproximadamente, 10% de artigos na coleção, o que totaliza apenas 4 artigos. Estudos de caso e propostas de metodologia totalizaram, respectivamente, 22 e 13 artigos, totalizando as 39 publicações da coleção.

Já para a área de aplicação de estudos, oito macros áreas foram identificadas. Todas elas, e na ordem, são: Construção Civil (9 publicações - 23%), Industrial (8 - 20%), Gestão de Resíduos (6 - 15%), Energia (5 - 13%), Acadêmica (4 - 10%), empatados, Logística e Agricultura (3 - 8%) e Indústria Química (1 - 3%), totalizando os 100% das 39 pesquisas. Portanto, Construção Civil e Industrial lideram as áreas de aplicação dos estudos, apresentando semelhanças com as áreas citadas da base *Web of Science*, na seção 2, quando considerando ACV e CCV separados.

Continuando as análises dos resultados extraídos das pesquisas da coleção, uma análise da quantidade de palavras-chave utilizadas nas pesquisas também foi feita. Considerou-se apenas palavras-chave diferente dos termos utilizados nesse estudo. Por exemplo, não foram considerados termos e siglas relacionados à avaliação do ciclo de vida, custo do ciclo de vida e *trade-off*.

No total, foram encontradas 151 diferentes palavras-chave. O termo mais comum foi *Industrial Ecology*, ou seja, ecologia industrial, totalizando três aparições.

Mais 14 palavras-chave apareceram duas vezes. O número baixo de frequência pode significar a não padronização de utilização de termos nas pesquisas. Um exemplo disso, são as várias terminologias encontradas para análise de decisão por multicritérios, sendo analisadas pelo menos quatro diferentes terminologias. Outras grandes variações de terminologias apareceram para sustentabilidade, avaliação social do ciclo de vida e processo de decisão.

Para melhor ilustrar todas as palavras-chave encontradas, um gráfico nuvem foi apresentado na Figura 7, com o tamanho da fonte maior para termos que foram usados duas e três vezes.

Figura 7 - Palavras-chave com maiores ocorrências



Fonte: Autoria própria (2018)

A tradução para as outras 14 palavras-chave com duas aparições são: ACV social, gestão de resíduos, reciclagem, mineração aprimorada de aterro, gaseificação por plasma, incertezas, manufatura aditiva, tomada de decisão, gestão de pavimento, emissão de gases do efeito estufa, pensamento de ciclo de vida, design para meio-ambiente, externalidades e análise de decisão por multicritérios.

Um novo quadro foi montado para apresentar a relação de países e universidades das pesquisas. O Quadro 2 apresenta o país de origem da pesquisa, universidade ou instituição e país de aplicação do estudo, podendo ser país ou continente, por exemplo, toda a Europa. A diferença entre as duas colunas com informações de países é que a primeira são países de origem da pesquisa, sendo que esse dado foi coletado, algumas vezes, do país do principal pesquisador ou do país da instituição mais relevante nas informações de publicação da pesquisa. Já a última coluna apresenta os países onde o estudo de caso foi aplicado, ou onde a proposta de metodologia foi aplicada. Algumas pesquisas não tiveram aplicação ou não foi especificada a informação de localização de aplicação.

Sendo assim, 30 universidades ou instituições foram encontradas na coleção de pesquisas. As universidades com maiores publicações são Universidade de Minho (Portugal) e Universidade de Stanford (Estados Unidos), com três publicações cada. Mais três universidades apresentaram duas publicações: Universidade Politécnica de Valência (Espanha), Universidade da Flórida Central (Estados Unidos) e Universidade Católica de Leuven (Bélgica). Os Estados Unidos apresentaram seis universidades ou instituições diferentes. Não foram encontradas as organizações origem de dois artigos. A Universidade Federal de Santa Catarina é a única organização brasileira da coleção. No Gráfico 8 é possível observar as 30 universidades ou instituições da coleção.

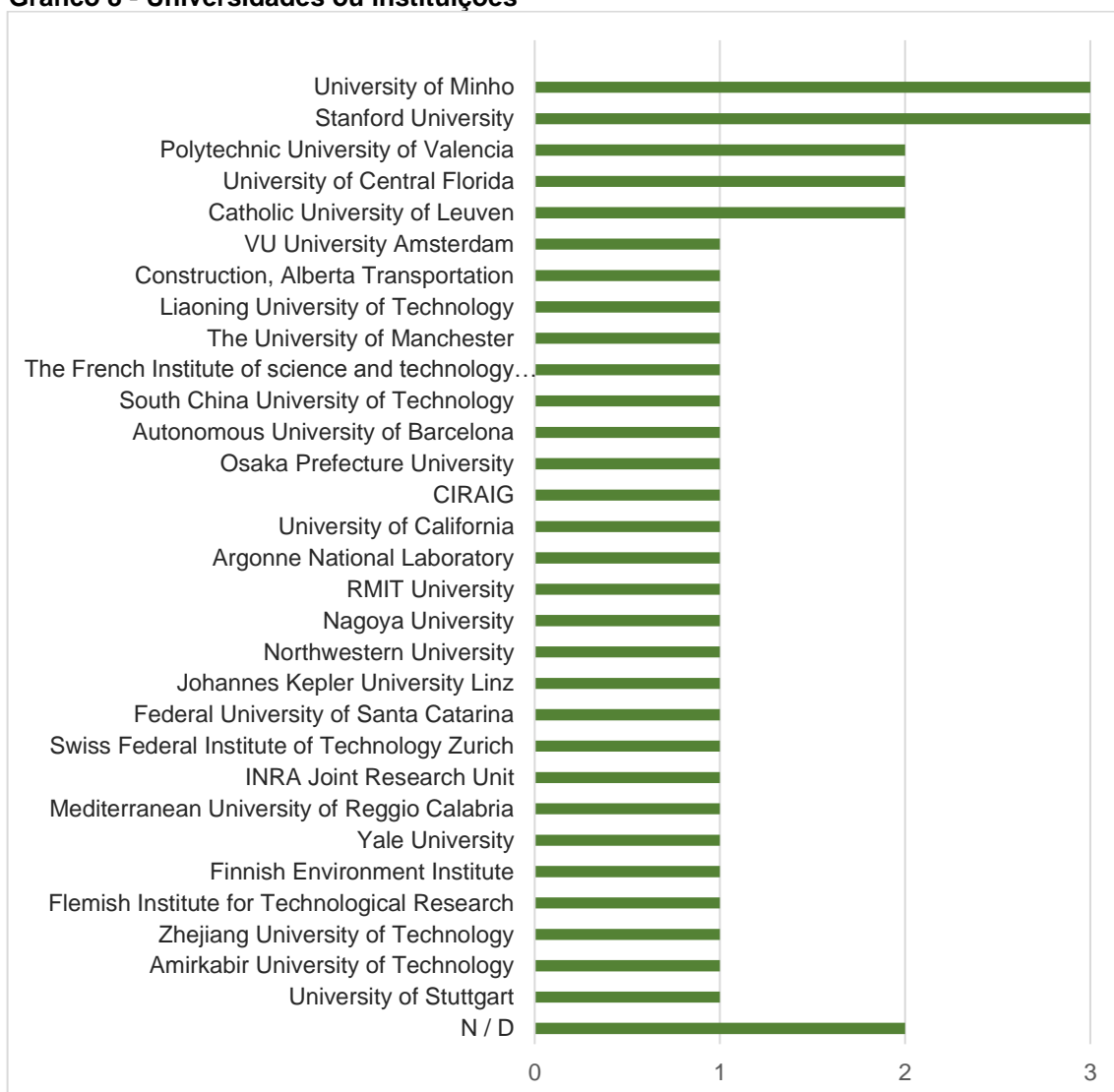
Para os países de origem de pesquisas e aplicação de estudos, um gráfico compartilhado foi apresentado. No total, 18 países foram encontrados como países origem das pesquisas, e 14 países, além do continente europeu, foram encontrados como locais de aplicação dos estudos. Os artigos que não tiveram um local de aplicação, como estudos de revisão literária, foram adicionados à categoria “Não aplica”, e os artigos que aplicaram, mas não foi mencionado no texto, foram adicionados à categoria “Não especifica”. O Gráfico 9 apresenta a relação, sendo o lado esquerdo do eixo a quantidade de artigos para país de origem e o lado direito a quantidade de artigos dos países de aplicação do estudo.

Quadro 2 – Países e universidades das pesquisas

| ID | País de Origem | Universidade ou Instituição | Aplicação do Estudo |
|-----------|-----------------------|--|----------------------------|
| 1 | Alemanha | University of Stuttgart | Europa |
| 2 | Irã | Amirkabir University of Technology | Irã |
| 3 | Estados Unidos | Stanford University | Estados Unidos |
| 4 | Estados Unidos | Stanford University | Estados Unidos |
| 5 | Bélgica | Flemish Institute for Technological Research | Não específica |
| 6 | Finlândia | Finnish Environment Institute | Finlândia |
| 7 | Bélgica | Catholic University of Leuven | Bélgica |
| 8 | Bélgica | Catholic University of Leuven | Bélgica |
| 9 | Itália | Mediterranean University of Reggio Calabria | Não aplica |
| 10 | França | INRA Joint Research Unit | França |
| 11 | Estados Unidos | University of Central Florida | Estados Unidos |
| 12 | Espanha | Polytechnic University of Valencia | Espanha |
| 13 | Áustria | Johannes Kepler University Linz | Europa |
| 14 | Estados Unidos | Stanford University | Estados Unidos |
| 15 | Estados Unidos | Northwestern University | Estados Unidos |
| 16 | Japão | Nagoya University | Japão |
| 17 | Austrália | RMIT University | Austrália |
| 18 | Estados Unidos | Argonne National Laboratory | Estados Unidos |
| 19 | Estados Unidos | University of California | Estados Unidos |
| 20 | Canadá | CIRAIG | Canadá |
| 21 | Japão | Osaka Prefecture University | Não aplica |
| 22 | Estados Unidos | N / D | Não aplica |
| 23 | Espanha | Autonomous University of Barcelona | Não aplica |
| 24 | Espanha | Polytechnic University of Valencia | Espanha |
| 25 | China | South China University of Technology | China |

| | | | |
|----|----------------|--|----------------|
| 26 | França | The French Institute of science and technology for transport, development and networks | Estados Unidos |
| 27 | Inglaterra | The University of Manchester | México |
| 28 | Alemanha | N / D | Não específica |
| 29 | Portugal | University of Minho | Portugal |
| 30 | Portugal | University of Minho | Portugal |
| 31 | Portugal | University of Minho | Portugal |
| 32 | Canadá | Construction, Alberta Transportation | Canadá |
| 33 | Holanda | VU University Amsterdam | Quênia |
| 34 | Estados Unidos | Yale University | Estados Unidos |
| 35 | Suíça | Swiss Federal Institute of Technology Zurich | Suíça |
| 36 | Brasil | Federal University of Santa Catarina | Não aplica |
| 37 | China | Zhejiang University of Technology | China |
| 38 | Estados Unidos | University of Central Florida | Estados Unidos |
| 39 | China | Liaoning University of Technology | China |

Fonte: Autoria própria (2018)

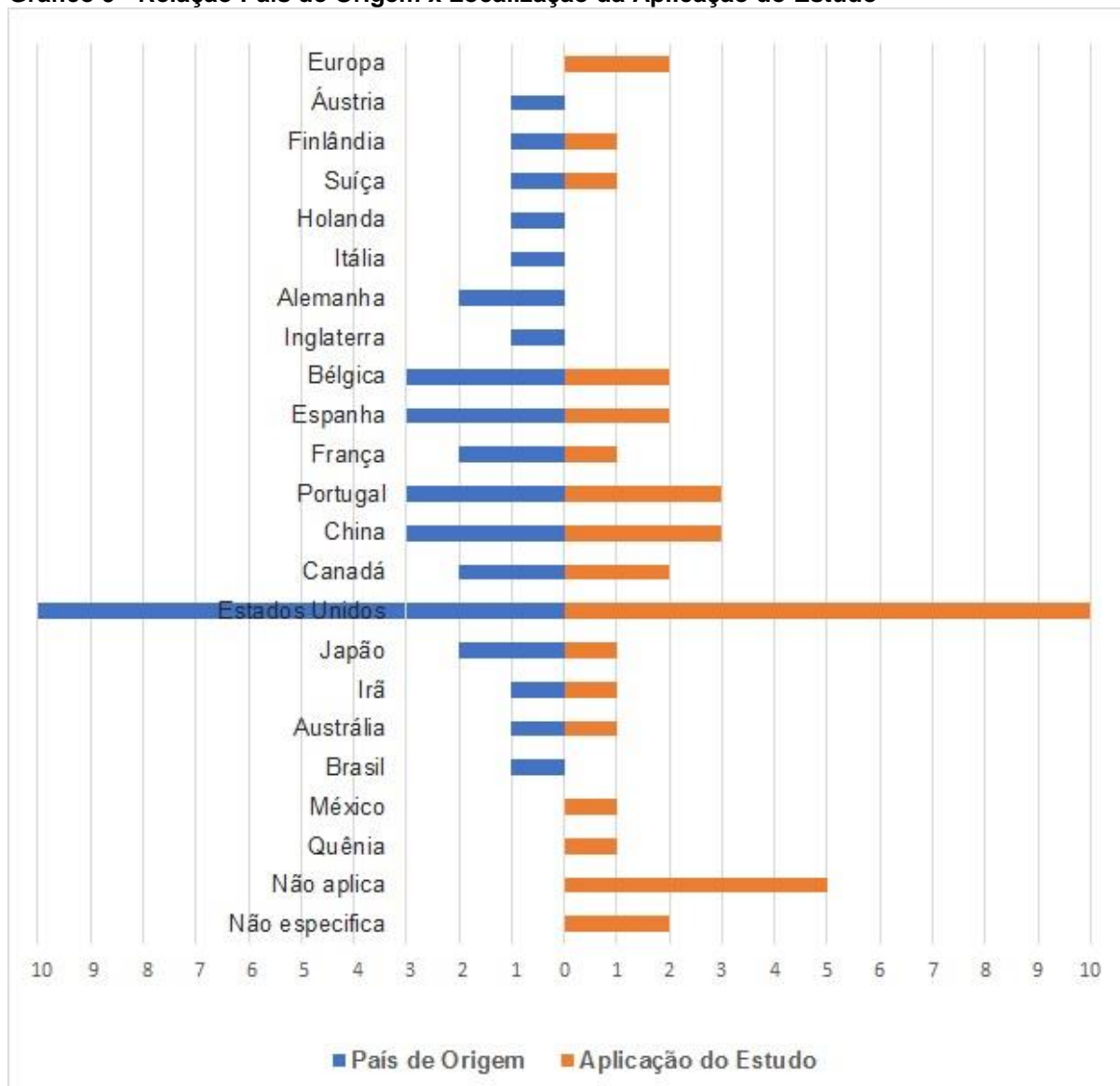
Gráfico 8 - Universidades ou instituições

Fonte: Autoria própria (2018)

Foi possível verificar a grande disparidade da quantidade de estudos para os Estados Unidos. Todos os artigos que tiveram origem nesse país também tiveram aplicação. No total, os Estados Unidos contabilizaram 10 pesquisas, sendo que em 2º colocados, Portugal e China, obtiveram três artigos, também nas duas categorias. Alguns artigos tiveram origem em um país e aplicação em outro, como por exemplo o artigo 27, que teve origem na Inglaterra, mas o estudo foi aplicado no México. Também foram analisadas duas pesquisas oriundas da Alemanha e da Áustria, mas que foram aplicadas em toda a Europa. Outro caso, também são artigos que originados de um país, mas que não houve especificação se a aplicação foi no mesmo lugar, como no artigo 5, da Bélgica. A grande quantidade de estudos com origem e aplicação dos

Estados Unidos, China e países da Europa também foi verificada na seção 2, quando considerando ACV e CCV separados.

Gráfico 9 - Relação País de Origem x Localização da Aplicação do Estudo



Fonte: Autoria própria (2018)

As análises das características dos artigos da coleção foram importantes para entender em quais locais, áreas e períodos as pesquisas estão se concentrando. Também serve como parâmetro entender quais instituições estão à frente das pesquisas dos temas. As palavras-chave também representam quais temas estão sendo abordados em conjunto. As características, em geral, servem de direcionamento para futuros estudos sobre ACV e CCV integrados. Nos resultados

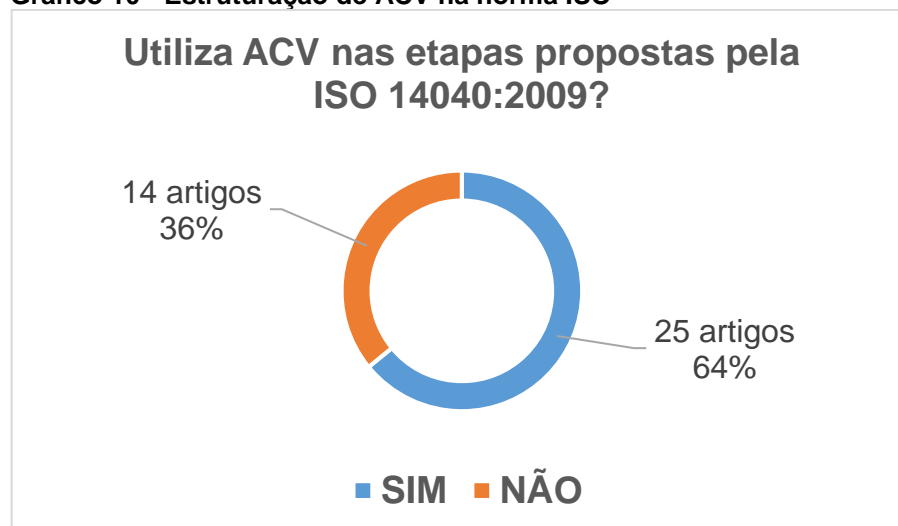
seguintes são analisadas as características de cada técnica, com os dados obtidos da leitura completa das pesquisas.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS COM A LEITURA DOS ARTIGOS

4.2.1 Resultados quanto à ACV

O primeiro resultado quanto à ACV foi a análise se os artigos possuíam as mesmas etapas descritas na subseção 2.1.2. Para tanto, os artigos deveriam descrever objetivo e escopo dos estudos, bem como, análise de inventário, análise dos impactos do ciclo de vida e interpretação dos resultados. No total dos 39 artigos, 25 artigos (64%) apresentaram essa estrutura, sendo que 14 artigos (36%) não obtiveram todas as etapas, nem identificados na leitura. O Gráfico 10 apresenta essa relação.

Gráfico 10 - Estruturação de ACV na norma ISO



Fonte: A autoria própria (2018)

A segunda análise foi em relação a utilização de *softwares* para calcular os impactos do ciclo de vida, baseados nos dados fornecidos pelos inventários dos estudos. No total, quatro *softwares* em diferentes versões foram identificados nas leituras. A análise apenas contabilizou o *software* em si, sem verificar as versões de uso. Dentre eles, oito artigos (21%) utilizaram o SimaPro e dois artigos (5%) utilizaram

o GaBi. Dentre os artigos que utilizaram o GaBi, um deles também utilizou o Athena e EcoCalculator. Um grande número de artigos não mencionou o *software* utilizado para compilar os dados do inventário, sendo totalizados em 21 artigos (54%), ou seja, mais da metade. Os artigos que não calcularam os impactos do ciclo de vida, ou seja, não compilaram dados de inventário para apresentar um fator de impacto representaram 21%, totalizando oito artigos.

A maioria dos artigos apresentaram como objetivo de aplicação de ACV a comparação entre opções de produtos, processos ou tecnologias, totalizando 23 artigos. Porém, outros objetivos foram identificados, tais como, mensuração de impacto e potenciais de impacto do ciclo de vida de produtos já na fase de design do projeto, avaliação da eficiência da técnica para impactos ambientais e de sustentabilidade, revisões na literatura de ACV com outras técnicas, como por exemplo, análise de decisão por multicritérios, e o uso dos resultados de ACV para monetização e utilização para contabilidade ambiental.

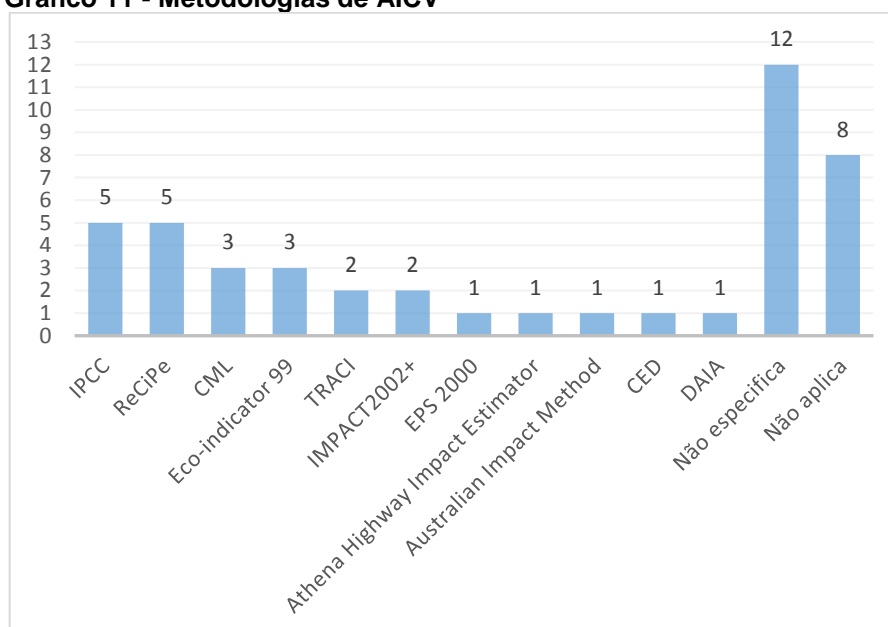
Outra análise realizada foi a utilização de fronteiras dos estudos. As fronteiras podem iniciar ou terminar no berço (*cradle*), na fase de produção (*gate*) e na disposição final (*grave*). Sendo sempre de um destino para outro, como por exemplo, *cradle-to-grave*, ou do berço até a disposição final. Os resultados, em ordem de maior quantidade, foram:

- *Cradle-to-grave*, 17 artigos (44%);
- Não específica, 11 artigos (28%);
- Não aplica, 8 artigos (21%);
- *Gate-to-gate*, 2 artigos (5%);
- *Cradle-to-gate*, 1 artigo (3%).

Em relação as metodologias de AICV utilizadas, 11 diferentes metodologias foram encontradas nas leituras dos artigos. Alguns artigos apresentaram até três metodologias usadas no mesmo estudo, enquanto outros artigos não especificaram a metodologia, apenas as categorias de impacto. Ercan et al. (2015) utilizaram um método híbrido de ACV, sem definir uma metodologia clara para AICV, sendo, portanto, considerado como não especificado. No total, oito artigos não aplicaram uma avaliação dos impactos e 12 não especificaram a metodologia de AICV. As

metodologias mais utilizadas foram empatadas com cinco artigos, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e *ReCiPe*. Também não foi considerada na análise a diferença de versões, assim como não foi considerado o período que a metodologia abrangeu, como por exemplo, 20 ou 100 anos de impacto. Islam et al. (2015) utilizaram um método próprio, desenvolvido na Austrália, chamado *Australian Impact Method*. As outras oito metodologias encontradas foram: TRACI, *Eco-indicator 99*, EPS 2000, IMPACT2002+, *Athena Highway Impact Estimator*, CML, DAIA (*Decision Analysis Impact Assessment*) e CED (*Cumulative Energy Demand*). O Gráfico 11 exibe a quantidade de artigos que utilizaram as metodologias.

Gráfico 11 - Metodologias de AICV



Fonte: Autoria própria (2018)

Devido à grande quantidade de categorias de impacto com diferentes nomenclaturas, apenas algumas considerações foram feitas na análise. No total, oito artigos não aplicaram ACV, portanto, também não utilizaram categorias de impacto nos estudos. Os outros 31 artigos aplicaram alguma categoria de impacto, sendo que todos eles aplicaram a categoria de impacto Emissão de Gases do Efeito Estufa, porém com diferentes nomenclaturas, como: *climate change*, *GHG emissions*, *carbon footprint* e *global warming potential*. Essa categoria foi aplicada unicamente em 11 artigos e nos outros 20 foi combinada com outras categorias. Em todos os 31 artigos em que essa categoria foi usada, o fator de impacto foi representado em Kg de CO₂

eq. Outras categorias que também foram usadas são: *acidification*, *eutrophication*, *human toxicity* e *ozone depletion*.

4.2.2 Resultados quanto à CCV

As análises da coleção dos artigos quanto à técnica de avaliação do custo de ciclo de vida têm características mais qualitativas. Isso porque diferentes metodologias de aplicação e discussão de técnicas foram usadas nos artigos. Existe um comum acordo em utilizar a técnica como soma de todos os custos envolvidos do produto ou processo do estudo. Porém, existe uma discussão em como separar etapas, como compilar os dados e como lidar com as incertezas em calcular soma de custos de diferentes períodos.

O primeiro questionamento da análise foi quanto ao objetivo do uso da técnica de CCV nos artigos. Assim como analisado em ACV, a maioria dos artigos apresentaram como objetivo a comparação de produtos, processos ou projetos, utilizando um fator de impacto econômico para verificar a maior eficiência. Dentre os objetivos, também foi verificado o uso de CCV com indicador econômico, sem comparação, além de ser utilizado como indicador de potenciais riscos futuros.

Outro questionamento foi quanto à utilização de mesmo *software* de ACV para compilar os resultados, fornecendo os resultados integrados. Porém, não houve artigo que mencionou a integração de CCV com ACV no mesmo *software*. Já quanto ao questionamento se a aplicação de CCV foi dentro da estrutura de ACV, ou seja, considerando os mesmos processos, fronteiras e produtos analisados, houveram resultados positivos, sendo 27 artigos dos 39 da coleção que aproveitaram a mesma estrutura para calcular os impactos ambientais e econômicos. Alguns dos artigos da coleção não especificaram essa informação e outros não aplicaram CCV no estudo.

Quanto à origem dos dados de custos coletados para as pesquisas, observou-se a grande influência de estudos passados para mensurar custos de projetos da mesma área. Outras influências são dados de órgãos governamentais para monetizar impactos ambientais. Por exemplo, Simões, Pinto e Bernardo (2013) e Simões et al. (2013), nos artigos 30 e 31, respectivamente, utilizam uma precificação monetária, em euro, para o Kg de CO₂ eq. fornecida pela EU *Emission Trading Scheme*, uma organização comercial europeia.

Não há uma padronização mundial para a estrutura e aplicação de CCV em todos os setores, portanto, uma análise foi feita nas metodologias utilizadas para calcular um fator de impacto. Contudo, é possível verificar que a maioria dos artigos da coleção utilizam com fator de impacto a soma dos custos por uma unidade funcional, assim como ACV, em que se escolhe uma unidade funcional para usar de parâmetro no impacto. A diferença dos artigos é na escolha do que será contabilizado na soma dos custos, e isso depende do objetivo de cada artigo. Outra diferença é na estrutura de como contabilizar os custos. Alguns artigos adotam etapas, assim como ACV, para contabilizar o fator de impacto. O Quadro 3 apresenta as estruturas adotadas, as exceções quanto à soma dos custos e se o estudo considerou custos externos, como sociais ou monetização de impactos ambientais.

Quadro 3 - Resultados das metodologias de CCV

| Referência | Estrutura | Exceções da Soma | Custos Externos |
|-------------------------------------|---|--|------------------------------------|
| ALBRECHT et al., 2013 | Apenas soma dos custos | N / D | Não |
| AMELI, MANSOUR e AHMADI-JAVID, 2017 | Apenas soma dos custos | N / D | Não |
| BASBAGILL, FLAGER e LEPECH, 2014 | Divide em custos pré-operacionais (quantidade de energia em kWh utilizada no sistema) e operacionais | N / D | Não |
| BEST, FLAGER e LEPECH, 2015 | Divide em custos de capital, operacional e energia | N / D | Não |
| BUYTAERT et al., 2011 | Análise de custo-benefício. Autor menciona que não é CCV mas utiliza como fator de impacto econômico | Considera apenas o valor presente dos custos | Não |
| DAHLBO et al., 2007 | Usa o custo do ciclo de vida social. Divide em custos diretos e externos | N / D | Sim, ações sociais e meio-ambiente |
| DANTHUREBANDARA et al., 2015a | Usa a soma dos custos para fazer um fluxo de caixa e utilizar como fator o valor presente líquido, <i>payback</i> e retorno em investimento | N / D | Não |
| DANTHUREBANDARA et al., 2015b | Usa a soma dos custos para fazer um fluxo de caixa e utilizar como fator o valor presente líquido | N / D | Não |

| | | | |
|-----------------------------------|---|---|---|
| DE LUCA et al., 2017 | Utiliza a estrutura proposta na norma para construção civil (ISO 15686-5:2008) e Norma norueguesa: NS 3454 | N / D | Sim, custos ambientais e riscos |
| DORR et al., 2017 | Utiliza a estrutura proposta na norma para construção civil (ISO 15686-5:2008) | Não utiliza custo de transporte | Sim, custos ambientais e riscos |
| ERCAN et al., 2015 | Divide em custos internos e externos | N / D | Sim, custos de danos à saúde |
| ESCOBAR et al., 2015 | Soma todos os custos mas subtrai a renda, sendo usado o lucro operacional e o valor econômico agregado como fatores de impacto | Utilizou alguns valores de custos com valores probabilísticos | Não |
| FAZENI, LINDORFER e PRAMMER, 2014 | ETAPAS: definição de objetivos e escopo, coleta de informações, interpretação e identificação de hotspots. Estrutura: custos positivos (soma de custos) e custos negativos (receitas). Indicadores: valor presente líquido, anuidade, taxa interna de retorno | Calcula depreciação de ativos | Não |
| GRUBERT, 2017 | Não utiliza metodologia | Não aplica realmente CCV | Não |
| HUANG et al., 2017 | Apenas soma dos custos | N / D | Não |
| INOUE e KATAYAMA, 2011 | Apenas soma dos custos | N / D | Não |
| ISLAM et al., 2015 | Apenas soma dos custos | Contabiliza valor do dinheiro no tempo baseado na inflação | Não |
| LEE e THOMAS, 2017 | Apenas soma dos custos | N / D | Sim, custos de danos por emissão de gases |
| LIDICKER et al., 2012 | Divide em custo de agência e custo de usuário | Não inclui vários custos, como disposição final | Sim |

| | | | |
|------------------------------------|--|--|---------------------------------|
| MAMI et al., 2017 | Divide custos em: pesquisa e desenvolvimento, produção, montagem, uso e final de vida | Contabiliza valor do dinheiro no tempo | Não |
| NGUYEN, KURODA e OTSUKA, 2017 | Soma de custos, mas também usa como indicadores o valor presente líquido e payback | Contabiliza valor do dinheiro no tempo | Não |
| NORRIS, 2001 | 5 categoria de custos: custos diretos (matéria-prima e mão de obra), custos indiretos, custos de contingente (penalidades, danos), custos intangíveis (lealdade do consumidor, bem estar de funcionários, imagem da empresa) e custos externos (sociedade) | N / D | Sim |
| PETIT-BOIX et al., 2017 | Utiliza a estrutura proposta na norma para construção civil (ISO 15686-5:2008) | N / D | Sim |
| PRETEL et al., 2015 | Soma de custos, mas utiliza como indicador o custo anual uniforme | Contabiliza valor do dinheiro no tempo | Não |
| QIAN, HUANG e YAN, 2007 | Soma de custos. Estrutura: custos de extração e aquisição de matéria-prima, produção, uso e disposição final | N / D | Não |
| SANTOS, FERREIRA e FLINTSCH, 2017 | Apenas soma dos custos | Contabiliza valor do dinheiro no tempo e converte todos os valores no presente | Não |
| SANTOYO-CASTELAZO e AZAPAGIC, 2014 | Divide em: custos de capital (aquisição), custos totais anuais e custo nivelado (total dos custos dividido por unidade de energia produzida) | N / D | Não |
| SCHMIDT, 2003 | Apenas soma dos custos | Contabiliza valor do dinheiro no tempo | Sim, custos de ações ambientais |
| SIMÕES et al., 2016 | Etapas: Definição de objetivo e escopo, análise do inventário de receitas e custos, avaliação do | N / D | Não |

| | | | |
|--------------------------------------|--|--|-----------------------------------|
| | custo e interpretação. Estrutura: custos variáveis (materiais, mão de obra e energia) e custos fixos (equipamentos, ferramental, espaço de construção, manutenção, despesas gerais e tratamento de resíduos) | | |
| SIMÕES, PINTO e BERNARDO, 2013 | Soma de Custos. Divide nas etapas: Definição de objetivo e escopo, análise do inventário de receitas e custos, avaliação do custo e interpretação | N / D | Sim, custos ambientais e sociais. |
| SIMÕES et al., 2013 | Apenas soma dos custos | Contabiliza valor do dinheiro no tempo | Sim, custos ambientais e sociais. |
| UMER et al., 2017 | Soma de custos, mas utiliza como indicador o calor presente líquido | Contabiliza valor do dinheiro no tempo | Não |
| VAN KEMPEN et al., 2017 | Apenas soma dos custos | Apenas contabiliza custos internos de produção e transporte | Não |
| WANG e ZIMMERMAN, 2015 | Apenas soma dos custos | Desconta custos por economizar compras de água da rede pública | Não |
| WU et al., 2017 | Soma de custos, mas utiliza como indicador o custo anual uniforme | Contabiliza valor do dinheiro no tempo | Não |
| ZANGHELINI, CHERUBINI e SOARES, 2017 | Não utiliza metodologia | Não aplica realmente CCV | Não |
| ZHANG, 2017 | O estudo apenas aborda custos ambientais de emissão de CO ₂ eq. | Contabiliza valor do dinheiro no tempo | Sim |
| ZHAO, ERCAN e TATARI, 2016 | Apenas soma dos custos | N / D | Não |
| ZHAO et al., 2011 | Soma de custos, mas utiliza como indicador o custo anual uniforme | N / D | Não |

Fonte: Autoria própria (2018)

As diferenças de categorias de custos, como direto e indireto, interno e externo, operacional e não operacional divergem entre os autores dos artigos da coleção, assim como a utilização de qual fator de impacto. Contudo, observou-se que a total soma dos custos ainda é a mais utilizada. Autores como Danthurebandara et al. (2015), De Luca et al. (2017) e Fazeni, Lindorfer e Prammer (2014) utilizam também indicadores clássicos da engenharia econômica, como valor presente líquido e custo anual uniforme.

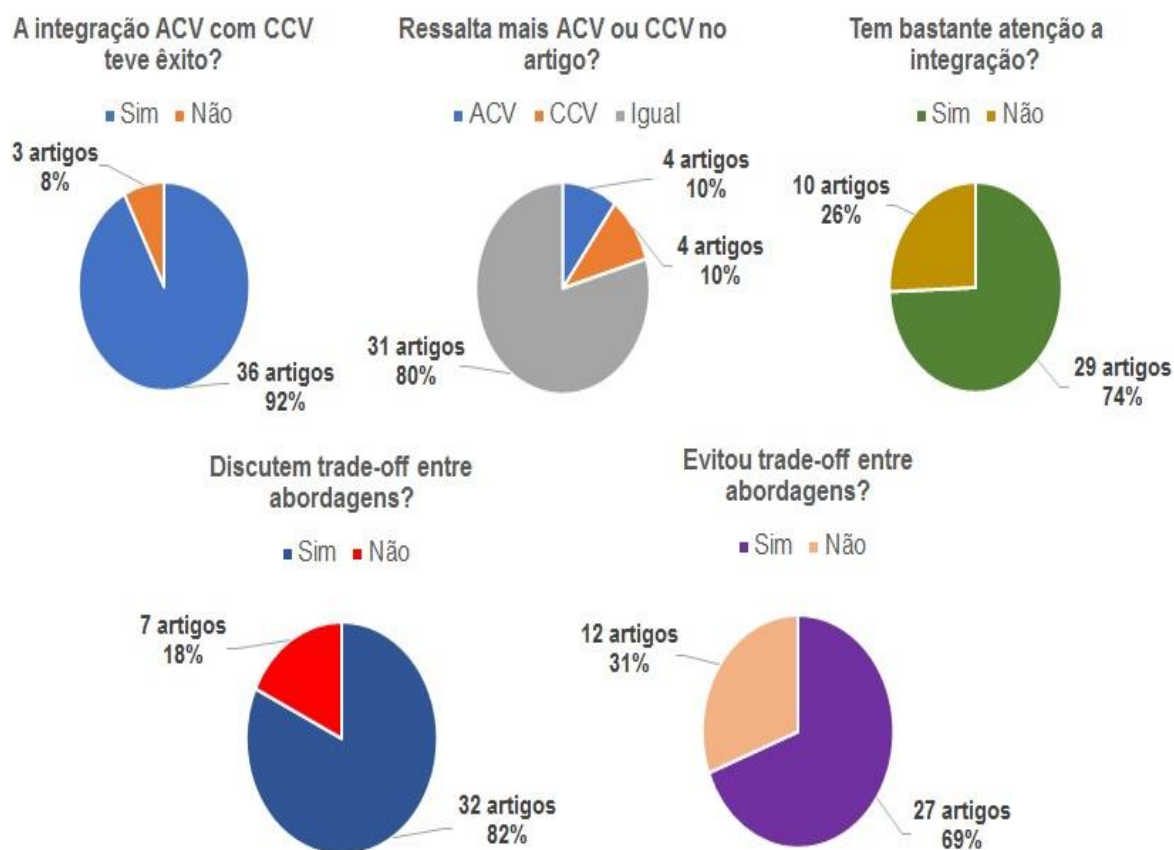
Alguns autores (DAHLBO et al., 2007; LEE e THOMAS, 2017; SCHMIDT, 2003; ZHANG, 2017) também utilizam o custo externo dentro do CCV. Essa categoria de custo é atribuída aos custos de prevenção ou danos ao meio-ambiente e à sociedade. Outra característica é a contabilidade da variação do valor do dinheiro ao longo do tempo, outro conceito econômico, sendo aplicado a futuros e previsíveis custos. Alguns autores decidiram por adotar etapas na aplicação de CCV, assim como é feito para ACV. Por exemplo, Fazeni, Lindorfer e Prammer (2014), Simões et al. (2016) e Simões, Pinto e Bernardo (2013) utilizam uma sequência de etapas semelhante à ACV, o que facilita uma futura integração das técnicas.

4.2.3 Resultados quanto à integração das técnicas

Nessa subseção foram apresentados os resultados quanto à integração das técnicas de Avaliação do Ciclo de Vida e Custo do Ciclo de Vida. Para fazer a análise, três questionamentos foram pesquisados nos artigos para entender o nível de integração entre as técnicas. O primeiro questionamento é se a integração de ACV e CCV tiveram êxito, ou seja, se houve algum método para integrar ou se as técnicas foram abordadas em separado. O segundo questionamento foi se o estudo ressaltou igualmente as técnicas ou se abordou uma sob a outra. Já o terceiro questionamento foi se o estudo valorizou a integração, sendo “sim” para os estudos que tiveram a integração como tema mais relevante na pesquisa. Outros dois questionamentos também foram feitos quanto ao *trade-off* das abordagens ambientais e econômicas. O primeiro foi o questionamento se o *trade-off* mencionado no estudo foi realmente sobre as abordagens do tema. Já o segundo questionamento foi se esse *trade-off* foi evitado ou apenas mencionado como uma característica eventual quando se usa a

integração de ACV e CCV. Os resultados dos 5 questionamentos são ilustrados na Figura 8, com os cinco gráficos respostas.

Figura 8 - Questionamentos da Integração de ACV e CCV



Fonte: Autoria própria (2018)

Em geral, o êxito em integrar as duas técnicas foi quase completo (92%). Apenas três artigos (BUYTAERT et al., 2011; INOUE e KATAYAMA, 2011; ZHANG, 2017) mencionaram as técnicas, mas não fizeram uma integração que apresentou resultados integrados de impactos ambientais e econômicos. Dentre as razões pelo não êxito, Buytaert et al. (2011) não desenvolveu conceitos para CCV, mas apenas aplicou a análise de custo-benefício como fator de impacto econômico. Inoue e Katayama (2011) também não desenvolveram os conceitos de CCV, mas usaram uma outra técnica, chamada ACV econômico de entrada-saída, para monetizar impactos de emissão de CO₂ equivalente. Zhang (2017) também monetiza impactos ambientais utilizando valores de parâmetros fornecidos por órgãos governamentais.

Com relação ao destaque maior para ACV ou CCV, a maioria dos artigos (31), representado 80%, deram destaques iguais para as técnicas, porém quatro artigos

ressaltaram mais ACV e quatro ressaltaram CCV. Ainda assim, a maioria dos artigos ressaltaram níveis iguais ACV e CCV, permitindo uma melhor análise de *trade-off*. Um maior destaque para apenas uma técnica poderia beneficiar apenas uma abordagem, sendo que o objetivo do estudo é evitar *trade-off* entre as abordagens.

Observando se o objetivo dos estudos eram realmente integrar as técnicas ou se esse tema era apenas complementar a outros temas, foi verificado que 74%, ou 27 artigos tiveram como tema central e mais relevante a integração das técnicas. Analisando os outros 12 artigos que não apresentaram o mesmo resultado, as técnicas são integradas em conjunto com outras técnicas de sustentabilidade, como no estudo de Buytaert et al. (2011), que avalia as técnicas em conjunto com uma série de técnicas de sustentabilidade, como, por exemplo, Análise de Custo-Benefício, Avaliação de Impacto Ambiental, Análise de Perturbação do Sistema, entre outros. Outra situação é usar a integração com diferentes propósitos e não para abordar impactos ambientais e econômicos. Por exemplo, Best, Flager e Lepech (2015) usam as técnicas para medir a eficiência de um sistema energético de fornecimento, sendo o tema principal as matrizes energéticas e sua eficiência em suprir a demanda de uma região.

Quanto às análises de *trade-off* dos artigos, 32 ou 82% dos artigos relacionam *trade-off* à integração das técnicas ACV e CCV ou aos impactos ambientais e econômicos. Porém, apenas 69%, ou 27 dos 39 artigos realmente apresentaram uma metodologia para evitar esse *trade-off*. Os 27 artigos que conseguiram aplicar uma metodologia e obter resultados para evitar o *trade-off* é que foram analisados para cumprir o objetivo principal do estudo.

Além dessas análises quantitativas da integração das técnicas, como parte da análise qualitativa, foram observadas quais outras técnicas e ferramentas foram aplicadas em conjunto. Foram observadas técnicas que agregam ACV e CCV para obtenção de melhorias de aspecto de sustentabilidade, além de observar como os autores lidaram com as incertezas das aplicações, e também quais técnicas e ferramentas foram adotadas para normalizar dados e decidir por vários critérios resultados de vários fatores de impacto tanto ambientais, quanto econômicos. O Quadro 4 apresenta as técnicas mais frequentes observadas nos estudos.

Quadro 4 – Técnicas e Ferramentas mais utilizadas em conjunto com ACV e CCV

| Técnica ou Ferramenta | Descrição | Frequência |
|--|--|-------------------|
| Análise de Sensibilidade | Essa análise serve para observar a oscilação de uma variável, quando outras variáveis interferem no seu resultado. Mede a importância da variável em todo o sistema. | 43,6% |
| Análise de Decisão por Multicritério | Análise com várias nomenclaturas e modos de aplicação utilizada para concentrar vários valores de diferentes critérios em apenas um fator. | 38,5% |
| Método de Monte Carlo | É um método estatístico probabilístico para simular diversas vezes um sistema de variáveis quantitativas. Muito utilizado como análise de incertezas, já que avalia diversos cenários. | 20,5% |
| Avaliação Social do Ciclo de Vida | Na mesma perspectiva de ciclo de vida que ACV e CCV, essa técnica refere-se aos impactos de caráter social, completando os três pilares da sustentabilidade. | 15,4% |
| Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida | Essa avaliação já busca integrar ACV, CCV e Avaliação Social do Ciclo de Vida. | 15,4% |
| Princípio de Pareto | É um conceito em que 80% dos efeitos são recorrentes de 20% de causas. Porém, pode ser aplicado de diversas maneiras. Como Diagrama de Pareto, que são considerados 20% dos maiores impactantes representando 80% do total de impacto. | 12,8% |
| Programação Matemática | Utilização de modelos matemáticos e computação para atingir uma função objetivo de forma rápida, respeitando condições impostas no modelo. | 12,8% |

Fonte: Autoria própria (2018)

A utilização das técnicas e ferramentas apresentadas resultam diretamente no sucesso de evitar *trade-off* entre as abordagens. Como não existe uma padronização de como integrar ACV e CCV, a utilização de técnicas que abordam multicritérios e também abordam as incertezas e sensibilidade das variáveis é de grande importância quando tratando de técnicas tão complexas. E para comprovar isso, um total de 17 dos 39 artigos, ou seja, quase 44% utilizam alguma ferramenta para análise de sensibilidade. A mais usual entre elas foi apenas a utilização de gráficos em duas dimensões para representar as oscilações das variáveis. Contudo, Danthurebandara et al. (2015a) e Danthurebandara et al. (2015b) utilizam, também, a simulação de Monte Carlo. Observou-se que o objetivo dessa técnica foi

majoritariamente para medir a sensibilidade de variáveis de custos, pois justifica-se que existem diversas variáveis com incertezas, pois dados de custos divergem ao longo do tempo.

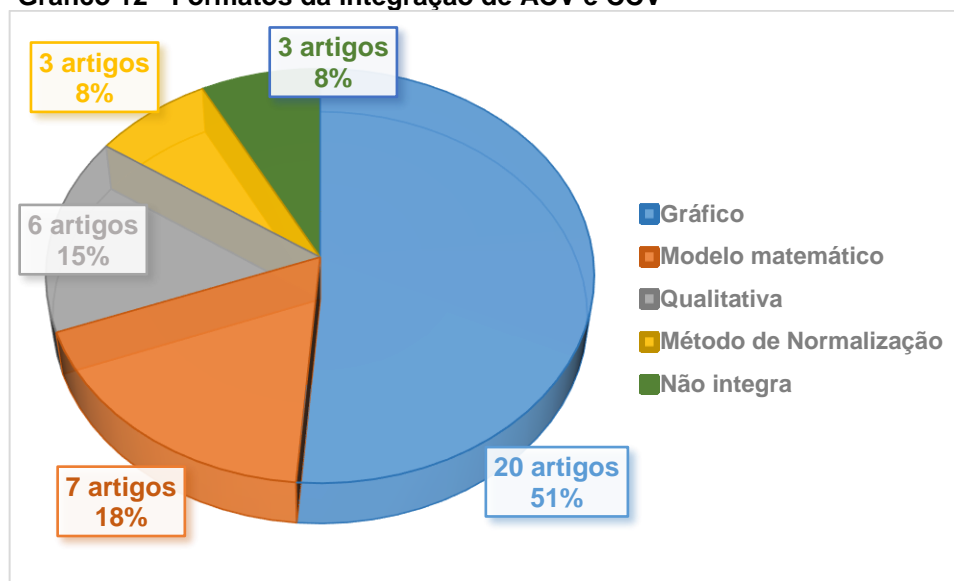
Outra técnica amplamente utilizada é análise de decisão por multicritério. Essa análise é utilizada pois dependendo do método de avaliação de impacto do ciclo de vida, os resultados podem ser apresentados em diversas unidades equivalentes e em várias categorias de impacto. Porém, existem diferenças de nomenclaturas da técnica. Zanghelini, Cherubini e Soares (2017) apresentam uma revisão literária das várias nomenclaturas e métodos de aplicação da análise para estudos de ACV. Alguns métodos também são utilizados na técnica, como: modelo matemático, SMART (classificação de vários atributos), AHP (processo hierárquico analítico), método FUZZY, entre outros.

Foi também possível analisar a utilização de fatores de impacto social nos estudos. Albrecht et al. (2013) utilizaram o *Life Cycle Working Environment*. Essa categoria de impacto utiliza os indicadores: tempo total de trabalho (segundos/ciclo), tempo total de trabalho de mulheres (segundos/ciclo), diferença de tempo de trabalho em níveis de qualificação de funcionários (segundos/ciclo) e número de acidente letais e não-letais (casos/ciclo). O crescimento da utilização de avaliação social do ciclo de vida nos estudos de ACV e CCV integrados representam um aumento da utilização da perspectiva do ciclo de vida para os três pilares da sustentabilidade.

Além das técnicas envolvidas na integração de ACV e CCV, também foram analisados os formatos da integração. No total, foram contabilizados quatro macros formatos, sendo cada formato com diferentes métodos para evitar *trade-off*. Os formatos, quantidade de artigos e porcentagem de utilização são apresentados no Gráfico 12.

Com o Gráfico 12 é possível observar a grande utilização de gráficos e modelos matemáticos para integrar as técnicas. No uso de gráficos, a maioria da utilização foi para plotar os resultados das categorias de impacto tanto para ACV, quanto para CCV. O uso de gráficos bidimensionais permitiu traçar retas da relação fator de impacto econômico e fator de impacto ambiental. Alguns exemplos desses gráficos podem ser vistos nos artigos de Escobar et al. (2015) e Mami et al. (2017). O uso do diagrama de Pareto foi necessário, como no artigo de Zhao, Ercan e Tatari (2016) para observar os projetos mais impactantes para ambas abordagens.

Gráfico 12 - Formatos da integração de ACV e CCV



Fonte: Autoria própria (2018)

O uso da análise de decisão por multicritérios foi mais presente nos artigos que utilizaram modelos matemáticos para minimizar uma função objetivo que somava os impactos ambientais e econômicos. Métodos de normalização também utilizaram análise de decisão por multicritérios para ponderar os dados dos impactos e apresentar os resultados na mesma base unitária. A utilização desses formatos e técnicas e ferramentas complementares foi essencial para diminuir o *trade-off* entre as abordagens citados nos artigos.

4.3 ANÁLISE CRÍTICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise e discussão dos resultados tem como objetivo juntar todas as informações encontradas nos resultados e apresentar como a integração das técnicas foi usada para diminuir o *trade-off* entre os temas.

Como apresentado nas seções do referencial teórico, as pesquisas de ACV e CCV tem crescido consideravelmente ao longo dos anos. A mesma tendência de crescimento segue para a coleção de pesquisas analisadas, que consideram ACV, CCV e *trade-off*. Os autores, países, universidades, áreas e periódicos mais relevantes ajudam a ter uma dimensão de onde as pesquisas estão localizadas. Essas informações podem ser úteis para futuros pesquisadores do tema em concentrar seus

resultados e serem mais eficientes em encontrar os dados necessários para as pesquisas.

Os resultados quanto à ACV permitiram uma análise da situação de aplicação da técnica. Como observado no referencial teórico, a aplicação de ACV tem como objetivo comparar projetos, produtos e processos em pequena escala. Isso porque a técnica de ACV é complexa, sendo que escalas maiores do estudo, as incertezas também aumentam.

Apesar de existir padronização para a estrutura de ACV, ainda foi possível observar grande quantidade de artigos que ainda não adotam a norma ISO 14040:2009. Com a padronização da técnica é possível obter propostas de estudo de casos com maiores sucessos, já que a norma é aceita pelos maiores pesquisadores da área. A grande quantidade de metodologias de AICV e categorias de impacto também revelam a grande variação de estudos de ACV, mas ainda assim foi possível observar que a categoria mais aceita é emissão de gases poluentes do efeito estufa, representados pelo fator de caracterização em Kg de CO₂ equivalente.

Já a utilização da técnica de Custo do Ciclo de Vida é ainda mais complexa. Isso porque existe uma grande quantidade de estudos e nenhuma padronização aceita universalmente para todas as áreas. A área de construção civil possui a maior quantidade de artigos tanto para CCV, quanto para ACV e CCV integrados. O resultado disso é a criação da norma ISO 15686-5:2008 para CCV apenas nessa área. Ainda assim, muitos autores se esforçam para definir uma sequência de passos e estrutura para representar esse fator econômico nas demais áreas.

Na análise de metodologias de CCV foi possível entender um padrão na utilização da técnica. Alguns autores já utilizam estrutura semelhante à ACV. Por exemplo, Fazeni, Lindorfer e Prammer (2014), Simões et al. (2016) e Simões, Pinto e Bernardo (2013) utilizam a seguinte estrutura: Definição de objetivo e escopo, análise do inventário de receitas e custos, avaliação do custo e interpretação. Integrar ACV e CCV se torna mais fácil definindo objetivo e escopo para ambos, analisando também em conjunto o inventário, coletando dados de impacto ambiental e também o custo das etapas. Assim como ACV, CCV também pode ser analisado em cada processo do ciclo de vida de um produto ou serviço.

Integrando ACV e CCV é possível mensurar as premissas, pressupostos do inventários e avaliação dos impactos no mesmo nível. Por exemplo, na produção de um produto X, foi adotada como premissa a não consideração dos impactos

ambientais da utilização de água no sistema. Portanto, o custo da aquisição dessa matéria-prima também não é contabilizado. Outro impacto relacionado é a depreciação de um ativo. Por exemplo, um determinado ativo é depreciado até ser vendido para terceiros. Após a venda, a responsabilidade pelos impactos gerados não é da mesma organização.

Se essa organização tem como objetivo um estudo integrado de ACV e CCV em determinado ativo apenas no momento em que essa organização possui o ativo, os impactos ambientais gerados podem ser contabilizados até o momento final da depreciação com uma venda para terceiros. Essa e outras premissas podem também ser integradas e mencionadas em uma mesma etapa de objetivo e escopo do estudo, aumentando ainda mais o nível de interação das técnicas.

Nas metodologias de CCV também foi possível observar a grande influência da variação do dinheiro ao longo do tempo. Essa é uma definição da engenharia econômica, amplamente utilizada em estudos da área. Essa variação monetária resulta em incertezas nos estudos, o que faz com que autores utilizem diversas ferramentas para minimizar esses fatores. Análises de incertezas e sensibilidade são amplamente recomendadas para esses problemas. Diversas técnicas, como Monte Carlo e programação matemática foram apresentadas, para incluir nos estudos. O resultado disso é uma redução de incertezas no fator CCV utilizado.

Há também uma grande quantidade de artigos que contabilizaram custos externos à organização. Para tanto, os artigos consultaram órgãos governamentais e tabela de monetização de impactos ambientais e sociais. Essas inclusões de custos externos aumentam ainda mais a inter-relação dos pilares da sustentabilidade.

Sobre o fator CCV, ou fator de impacto econômico, autores utilizam diferente categorias. Assim como ACV, CCV também pode ter diferentes categorias de impacto. Algumas identificadas foram: Soma de custos, valor presente líquido, custo anual uniforme, *payback*, valor agregado do produto, retorno de investimento, entre outros. Essas categorias também podem ser integradas às categorias de impactos ambientais, para uma maior comparação de categorias.

Assim, parte-se para a integração de ACV e CCV. Integração que teve sucesso analisando a coleção dos 39 artigos, já que houve um sucesso de 92% de utilização de metodologias para integrar as técnicas. Vários autores ampliaram essa integração com a utilização da avaliação social do ciclo de vida, o que mostra uma tendência de utilização de apenas uma nomenclatura para estudos que utilizam

impactos de sustentabilidade em uma perspectiva de ciclo de vida. E essa nomenclatura já mencionada como avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida é resultado da soma dos três pilares: ambiental, econômico e social. Porém, ainda existe uma grande lacuna na quantidade de estudos de ACV, CCV e ACV social integrados. Futuras pesquisas devem ter maior atenção às práticas utilizadas para medir impactos sociais em meios produtivos.

Com a leitura e análise da coleção dos 39 artigos foi possível observar as mais diversas técnicas de integração que serviram para diminuir o *trade-off* entre abordagens econômicas e ambientais em 69% dos artigos. Para responder a pergunta-problema e cumprir o objetivo principal do estudo, o formato de integração, a metodologia e as ferramentas complementares foram observadas. No total, 20 artigos, representado 51% utilizaram o método gráfico, semelhante à *Eco-care-matrix*, apresentada por Auer et al. (2017) na seção 2.3.2. Nesse formato, os autores plotam os resultados em um diagrama gráfico bidimensional. Os impactos ambientais e econômicos são representados nos dois eixos do gráfico. Plotando os resultados em pontos que intersectam os eixos em seus níveis de impacto, vários pontos representam as opções de comparação de projetos e produtos. Portanto, é possível criar uma reta de *trade-off*, que seriam os limites escolhidos por *stakeholders* para ambas as abordagens. Os pontos mais próximos à reta podem ser analisados como melhores opções.

Contudo, é possível também observar opções que têm grande aumento de impactos de uma abordagem em benefício muito pequeno da outra. Essas opções são logo descartadas, pois a integração deve beneficiar ambas abordagens. Há também outra maneira de análise definindo limites do fator de impacto para cada abordagem.

Além do diagrama gráfico das metodologias que integram ACV e CCV para reduzir *trade-off*, a utilização de modelos matemáticos tem sido amplamente usada. São modelos MINIMAX que objetivam uma solução ótima de minimização da soma de critérios, por exemplo, de todos os impactos em questão. Estipulando parâmetros e restrições é possível obter modelos que são serão compilados por softwares e oferecerão a melhor solução do sistema de opções.

A utilização das ferramentas complementares foi crucial para as integrações de ACV e CCV. A análise de decisão por multicritérios foi a mais utilizada dentre as outras para normalizar e ponderar os resultados das várias categorias de impacto.

Existem vários métodos para aplicar essa análise, e na maioria dos métodos, todos os resultados das categorias de impacto são normalizados para uma mesma base numérica, ponderados para categorias de maiores pesos e elencados do maior para o menor valor.

De modo geral, os artigos que integraram ACV e CCV e obtiveram êxito em reduzir *trade-off* entre abordagens, compararam os resultados das opções estudadas de maneira mais visual possível, obtendo no mesmo campo as comparações visuais e numéricas. Os artigos mais objetivos em fazer essas comparações apresentaram estrutura mais enxuta e integrada das técnicas, adotando mesmas fronteiras de sistema, unidades funcionais e etapas e sequências estruturais. Os métodos de AICV que ponderam os resultados de impactos ambientais nas categorias devem ser ampliados para também incluir categorias de impacto econômico nas ponderações. O uso de diagrama bidimensional pode ser um desafio, caso seja acrescentado um fator de impacto social, pois o gráfico bidimensional se tornaria tridimensional. Outra análise que se conclui, é a melhor gestão das incertezas dos dados dos estudos, devendo sempre ser integradas ferramentas que reduzam essas incertezas.

Por fim, o aumento de pesquisas que abordam o tema é um fator positivo. Um melhor direcionamento do tema ainda é preciso, visto que ainda faltam muitas padronizações quanto ao uso das técnicas e as metodologias de integração. Algumas áreas, como a construção civil, lideram as pesquisas. Outras áreas também devem ter mais estudos aplicados para apresentar os benefícios que a integração de ACV e CCV geram, aumentando a eficiência para projetos mais sustentáveis.

5 CONCLUSÃO

O estudo buscou aplicar uma metodologia de revisão sistêmica da literatura. Foram coletados diversos artigos das bases de pesquisas mais relevantes. Adotando critérios de exclusão chegou-se a coleção de 39 artigos. A coleção foi analisada e categorizada de acordo com critérios referentes a identificação e origem do artigo, relevância para os estudos de Avaliação do Ciclo de Vida e Custo de Ciclo de Vida, e por fim, relevância quanto a integração das técnicas.

Com a leitura completa dos 39 artigos, obteve-se os dados de: anos das pesquisas, autores, periódicos de publicação, universidades, países de origem e aplicação do estudo, tipo de pesquisa, objetivo, palavras-chave e área de aplicação do estudo.

O estudo da relevância quanto à ACV permitiu observar as metodologias, categorias e softwares mais utilizados para compilar os impactos ambientais. Mesmo existindo padronização para definição e estrutura de ACV, 36% dos artigos não evidenciaram o uso da norma ISO 14040:2009 para estruturar a técnica.

A falta de padronização da técnica também é observada para CCV. O setor com maior aplicação de pesquisas, a construção civil, possui sua própria norma ISO de aplicação, a ISO 15686-5:2008. Porém, uma maior padronização é necessária para as outras áreas. Ainda assim, vários autores propõem metodologias para aplicação do fator de impacto econômico, com estruturas, etapas e indicadores, com semelhanças à ACV.

A partir disso, é possível analisar a integração das técnicas. O total de 92% dos artigos, ou 36 dos 39 artigos, obtiveram um método de integração. Os níveis e metodologias da integração diferem entre si. Essa diferença resultou em apenas 69% de êxito em usar a integração para evitar *trade-off* entre as abordagens ambientais e econômicas. Por esse motivo, as integrações das técnicas foram analisadas quanto à metodologia, formato e ferramentas complementares para responder a pergunta-problema desse estudo: como a integração de ACV e CCV minimizam *trade-off* entre as abordagens do tema?

Essa pergunta é respondida atendendo o objetivo principal da pesquisa. A utilização de diagramas de gráficos bidimensionais, modelos matemáticos e análise de decisão por multicritério possibilitaram aos pesquisadores uma comparação mais visual entre os benefícios ambientais e econômicos de cada projeto, produtos ou

qualquer opção que permitisse comparação. O uso de técnicas complementares facilitou a integração das técnicas, a minimização do *trade-off* entre abordagens ambientais e econômicas, além de minimizar as incertezas das variáveis e permitir maior coerência dos fatores de impacto calculados.

Com a minimização de *trade-off* entre abordagens ambientais e econômicas, as organizações podem escolher por melhores opções de produtos, serviços e processos, balanceando os impactos das abordagens. Esse balanceamento permite às organizações maior nível de informação para tomada de decisões.

Com opções mais eficientes por produtos e processos, empresas garantem vantagem competitiva sob as demais, já que as mesmas deverão seguir objetivos sustentáveis em suas operações. Isso porque a sustentabilidade tem sido discutida mundialmente, visto os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU em promover maior eficiência em sustentabilidade nas organizações.

Para futuras pesquisas, recomenda-se maior utilização da integração das técnicas, mais padronização nas estruturas e metodologias e também a adesão do fator social de impacto, também em uma perspectiva de ciclo de vida. Com a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, as organizações podem obter melhores informações para a tomada de decisão e garantir, por completo, maior eficiência sustentável.

Este trabalho teve como objetivo oferecer para a comunidade acadêmica maior informação sobre o tema. E também permitir às futuras pesquisas e aplicação de estudos de casos, maior direcionamento e objetividade, almejando maior discussão sobre técnicas de engenharia que beneficiem a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção). **A profissão**: Saiba mais sobre a Engenharia de Produção. 2018. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/a-profissao/>>. Acesso em: 01 maio. 2018.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Brasil, 2009.

AKBAR, A.; MOKHTAR, A. A. B. Integrating Life Cycle Costing (LCC) and Life Cycle Assessment (LCA) Model for Selection of Centralized Chilled Water Generation. In: MATEC WEB OF CONFERENCES. **EDP Sciences**, 2017. p. 04006.

ALBRECHT, S; BRANDSTETTER, P; BECK, T; FULLANA-I-PALMER, P; GRONMAN, K; BAITZ, M; DEIMLING, S; SANDILANDS, J; FISCHER, M. An extended life cycle analysis of packaging systems for fruit and vegetable transport in Europe. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 8, p. 1549-1567, 2013.

AMELI, M; MANSOUR, S; AHMADI-JAVID, A. A sustainable method for optimizing product design with trade-off between life cycle cost and environmental impact. *Environment*. **Development and Sustainability**, v. 19, n. 6, p. 2443-2456, 2017.

ANDERSSON, K; OHLSSON, T; OLSSON, P. Life cycle assessment (LCA) of food products and production systems. **Trends in Food Science & Technology**, v. 5, n. 5, p. 134-138, 1994.

AUER, J; BEY, N; SCHÄFER, J. Combined Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing in the Eco-Care-Matrix: A case study on the performance of a modernized manufacturing system for glass containers. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 99-109, 2017.

BASBAGILL, J. P; FLAGER, F. L; LEPECH, M. A multi-objective feedback approach for evaluating sequential conceptual building design decisions. **Automation in Construction**, v. 45, p. 136-150, 2014.

BEST, R. E; FLAGER, F; LEPECH, M. D. Modeling and optimization of building mix and energy supply technology for urban districts. **Applied Energy**, v. 159, p. 161-177, 2015.

BROWN, R. A new marketing tool: Life-cycle costing. **Industrial Marketing Management**, v. 8, n. 2, p. 109-113, 1979.

BUYTAERT, V; MUYS, B; DEVRIENDT, N; PELKMANS, L; KRETZSCHMAR, J. G; SAMSON, R. Towards integrated sustainability assessment for energetic use of biomass: A state of the art evaluation of assessment tools. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 8, p. 3918-3933, 2011.

CAMBRIDGE DICTIONARY. **Significado de "trade-off" no Dicionário de Inglês**. 2018. Disponível em: <<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/trade-off>>. Acesso em: 04 dez. 2018.

CAMPBELL, D. E; KELLY, J. S. Trade-off theory. **The American Economic Review**, v. 84, n. 2, p. 422-426, 1994.

DAHLBO, H; OLLIKAINEN, M; PELTOLA, S; MYLLYMAA, T; MELANEN, M. Combining ecological and economic assessment of options for newspaper waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 51, n. 1, p. 42-63, 2007.

DANTHUREBANDARA, M; VAN PASSEL, S; MACHIELS, L; VAN ACKER, K. Valorization of thermal treatment residues in enhanced landfill mining: environmental and economic evaluation. **Journal of Cleaner Production**, v. 99, p. 275-285, 2015a.

DANTHUREBANDARA, M; VAN PASSEL, S; VANDERREYDT, I; VAN ACKER, K. Environmental and economic performance of plasma gasification in Enhanced Landfill Mining. **Waste Management**, v. 45, p. 458-467, 2015b.

DE BENEDETTO, L; KLEMES, J. The Environmental Performance Strategy Map: an integrated LCA approach to support the strategic decision-making process. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 10, p. 900-906, 2009.

DE LUCA, A. I; IOFRIDA, N; LESKINEN, P; STILLITANO, T; FALCONE, G; STRANO, A; GULISANO, G. Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. **Science of The Total Environment**, v. 595, p. 352-370, 2017.

DE MENNA, F; DIETERSHAGEN, J; LOUBIERE, M; VITTUARI, M. Life cycle costing of food waste: A review of methodological approaches. **Waste Management**, v. 73, p. 1-13, 2018.

DEUTSCH, M. Life cycle cost disclosure, consumer behavior, and business implications. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 1, p. 103-120, 2010.

DORR, E; SANYÉ-MENGUAL, E; GABRIELLE, B; GRARD, B. J; AUBRY, C. Proper selection of substrates and crops enhances the sustainability of Paris rooftop garden. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 5, p. 51, 2017.

EARLY, C; KIDMAN, T; MENVIELLE, M; GEYER, R; MCMULLAN, R. Informing packaging design decisions at Toyota motor sales using life cycle assessment and costing. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 4, p. 592-606, 2009.

ELYAMANY, A. H; EL-NASHAR, W. Y. Estimating Life Cycle Cost of Improved Field Irrigation Canal. **Water Resources Management**, v. 30, n. 1, p. 99-113, 2016.

ERCAN, T; ZHAO, Y; TATARI, O; PAZOUR, J. A. Optimization of transit bus fleet's life cycle assessment impacts with alternative fuel options. **Energy**, v. 93, p. 323-334, 2015.

ESCOBAR, N; RIBAL, J; CLEMENTE, G; RODRIGO, A; PASCUAL, A; SANJUÁN, N. Uncertainty analysis in the financial assessment of an integrated management system for restaurant and catering waste in Spain. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 11, p. 1491-1510, 2015.

FAZENI, K; LINDORFER, J; PRAMMER, H. Methodological advancements in life cycle process design: a preliminary outlook. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 92, p. 66-77, 2014.

FEIJOO, S; GONZÁLEZ-GARCÍA, S; LEMA, J. M; MOREIRA, M. T. Life cycle assessment of Beta-Galactosidase enzyme production. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 204-212, 2017.

GIL, A. C. Como classificar as pesquisas. **Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, p. 44-45, 2002.

GLUCH, P; BAUMANN, H. The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. **Building and Environment**, v. 39, n. 5, p. 571-580, 2004.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S; GOMEZ-FERNÁNDEZ, Z; DIAS, A. C; FEIJOO, G; MOREIRA, M. T; ARROJA, L. Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 74, p. 125-134, 2014.

GRUBERT, E. The Need for a Preference-Based Multicriteria Prioritization Framework in Life Cycle Sustainability Assessment. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 6, p. 1522-1535, 2017.

GUINEE, J; HEIJUNGS, R. A proposal for the classification of toxic substances within the framework of life cycle assessment of products. **Chemosphere**, v. 26, n. 10, p. 1925-1944, 1993.

HUANG, R; RIDDLE, M. E; GRAZIANO, D; DAS, S; NIMBALKAR, S; CRESKO, J; MASANET, E. Environmental and economic implications of distributed additive manufacturing: The case of injection mold tooling. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. S1, p. S130-S143, 2017.

HUNKELER, D; LICHTENVORT, K; REBITZER, G. **Environmental Life Cycle Costing**. Crc press, 2008.

IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia). **Avaliação do Ciclo de Vida**: O que é Avaliação do Ciclo de Vida. 2018. Disponível em: < <http://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/> >. Acesso em: 01 maio. 2018.

ILG, P; SCOPE, C; MUENCH, S; GUENTHER, E. Uncertainty in life cycle costing for long-range infrastructure. Part I: leveling the playing field to address uncertainties. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 2, p. 277-292, 2017.

INOUE, Y; KATAYAMA, A. Two-scale evaluation of remediation technologies for a contaminated site by applying economic input–output life cycle assessment: Risk–cost, risk–energy consumption and risk–CO₂ emission. **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, n. 3, p. 1234-1242, 2011.

ISLAM, H; JOLLANDS, M; SETUNGE, S; HAQUE, N; BHUIYAN, M. A. Life cycle assessment and life cycle cost implications for roofing and floor designs in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 104, p. 250-263, 2015.

KLÖPPFER, W; CIROTH, A. Is LCC relevant in a sustainability assessment?. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 2, p. 99-101, 2011.

LEE, D; THOMAS, V. M. Parametric modeling approach for economic and environmental life cycle assessment of medium-duty truck electrification. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3300-3321, 2017.

LIDICKER, J; SATHAYE, N; MADANAT, S; HORVATH, A. Pavement resurfacing policy for minimization of life-cycle costs and greenhouse gas emissions. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 19, n. 2, p. 129-137, 2012.

MAMI, F; REVÉRET, J. P; FALLAHA, S; MARGNI, M. Evaluating eco-efficiency of 3D printing in the aeronautic industry. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. S1, p. S37-S48, 2017.

MARQUEZ, F. P. G; LEWIS, R. W; TOBIAS, A. M; ROBERTS, C. Life cycle costs for railway condition monitoring. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 44, n. 6, p. 1175-1187, 2008.

MOREIRA, M. T; NOYA, I; FEIJOO, G. The prospective use of biochar as adsorption matrix—A review from a lifecycle perspective. **Bioresource Technology**, v. 246, p. 135-141, 2017.

NGUYEN, T. A; KURODA, K; OTSUKA, K. Inclusive impact assessment for the sustainability of vegetable oil-based biodiesel—Part I: Linkage between inclusive impact index and life cycle sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 1415-1427, 2017.

NORRIS, G. A. Integrating life cycle cost analysis and LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 6, n. 2, p. 118-120, 2001.

ONU (Organização das Nações Unidas). **Metas de desenvolvimento sustentável: 17 metas para transformar nosso mundo**. 2018. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>>. Acesso em: 01 maio. 2018.

PETIT-BOIX, A; LLORACH-MASSANA, P; SANJUAN-DELMAS, D; SIERRA-PÉREZ, J; VINYES, E; GABARRELL, X; RIERADEVALL, J; SANYE-MENGUAL, E. Application of life cycle thinking towards sustainable cities: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 939-951, 2017.

PRETEL, R; SHOENER, B. D; FERRER, J; GUEST, J. S. Navigating environmental, economic, and technological trade-offs in the design and operation of submerged

anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs). **Water Research**, v. 87, p. 531-541, 2015.

QIAN Y; HUANG Z; YAN Z. Integrated assessment of environmental and economic performance of chemical products using analytic hierarchy process approach. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 15, n. 1, p. 81-87, 2007.

SANTOS, J; FERREIRA, A; FLINTSCH, G. A multi-objective optimization-based pavement management decision-support system for enhancing pavement sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1380-1393, 2017.

SANTOYO-CASTELAZO, E; AZAPAGIC, A. Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. **Journal of Cleaner Production**, v. 80, p. 119-138, 2014.

SCHMIDT, W. Life cycle costing as part of design for environment environmental business cases. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 8, n. 3, p. 167, 2003.

SHAPIRO, K. G. Incorporating costs in LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 6, n. 2, p. 121-123, 2001.

SHERIF, Y. S; KOLARIK, W. J. Life cycle costing: concept and practice. **Omega**, v. 9, n. 3, p. 287-296, 1981.

SIMÕES, C. L; DE SÁ, R. F; RIBEIRO, C. J; BERNARDO, P; PONTES, A. J; BERNARDO, C. A. Environmental and economic performance of a car component: assessing new materials, processes and designs. **Journal of Cleaner Production**, v. 118, p. 105-117, 2016.

SIMÕES, C. L; PINTO, L. M. C; BERNARDO, C. A. Environmental and economic assessment of a road safety product made with virgin and recycled HDPE: A comparative study. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 209-215, 2013.

SIMÕES, C. L; PINTO, L. M. C; SIMÕES, R; BERNARDO, C. A. Integrating environmental and economic life cycle analysis in product development: a material selection case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 9, p. 1734-1746, 2013.

SWARR, T. E; HUNKELER, D; KLÖPFFER, W; PESONEN, H. L; CIROTH, A; BRENT, A. C; PAGAN, R. Environmental life-cycle costing: a code of practice. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 5, p. 389-391, 2011.

UMER, A; HEWAGE, K; HAIDER, H; SADIQ, R. Sustainability evaluation framework for pavement technologies: An integrated life cycle economic and environmental trade-off analysis. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 53, p. 88-101, 2017.

VAN DEN BOOMEN, M; SCHOENMAKER, R; WOLFERT, A. R. M. A life cycle costing approach for discounting in age and interval replacement optimisation models for civil infrastructure assets. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 14, n. 1, p. 1-13, 2018.

VAN KEMPEN, E. A; SPILIOTOPOULOU, E; STOJANOVSKI, G; DE LEEUW, S. Using life cycle sustainability assessment to trade off sourcing strategies for humanitarian relief items. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 11, p. 1718-1730, 2017.

WANG, R; ZIMMERMAN, J. B. Economic and environmental assessment of office building rainwater harvesting systems in various US cities. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 3, p. 1768-1778, 2015.

WARREN, J. L; WEITZ, K. A. Development of an integrated life-cycle cost assessment model. In: ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1994. ISEE 1994., Proceedings., 1994, **IEEE International Symposium On**. IEEE, 1994. p. 155-163.

WOODWARD, D. G. Life cycle costing—theory, information acquisition and application. **International Journal of Project Management**, v. 15, n. 6, p. 335-344, 1997.

WU, R; MAVROMATIDIS, G; OREHOUNIG, K; CARMELIET, J. Multiobjective optimisation of energy systems and building envelope retrofit in a residential community. **Applied Energy**, v. 190, p. 634-649, 2017.

ZANGHELINI, G. M; CHERUBINI, E; SOARES, S. R. How Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) is aiding Life Cycle Assessment (LCA) in results interpretation. **Journal of Cleaner Production**, 2017.

ZHANG, Y. Taking the Time Characteristic into Account of Life Cycle Assessment: Method and Application for Buildings. **Sustainability**, v. 9, n. 6, p. 922, 2017.

ZHAO, Y; ERCAN, T; TATARI, O. Life cycle based multi-criteria optimization for optimal allocation of commercial delivery truck fleet in the United States. **Sustainable Production and Consumption**, v. 8, p. 18-31, 2016.

ZHAO, W; HUPPES, G; VAN DER VOET, E. Eco-efficiency for greenhouse gas emissions mitigation of municipal solid waste management: A case study of Tianjin, China. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1407-1415, 2011.