

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO  
MESTRADO E DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LUIZ FERNANDO RODRIGUES PINTO**

**AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE DE EMPRESAS NO  
SETOR AUTOMOTIVO BRASILEIRO E ITALIANO**

**São Paulo  
2019**

**LUIZ FERNANDO RODRIGUES PINTO**

**AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE DE EMPRESAS NO  
SETOR AUTOMOTIVO BRASILEIRO E ITALIANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Prof. Geraldo C. Oliveira Neto, Dr. -  
Orientador

**São Paulo  
2019**

Pinto, Luiz Fernando Rodrigues.

Avaliação do nível de sustentabilidade de empresas no setor automotivo brasileiro e italiano. / Luiz Fernando Rodrigues Pinto. 2019.

131 f.

Tese (doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2019.

Orientador (a): Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto.

1. Sustentabilidade forte. 2. Avaliação de sustentabilidade. 3. Setor automotivo. 4. Estudo de múltiplos casos.

I. Oliveira Neto, Geraldo Cardoso de. II. Título

CDU 658.5

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE

DE

Luiz Fernando Rodrigues Pinto

Título da Tese: Avaliação do Nível de Sustentabilidade de Empresas no Setor Automotivo Brasileiro e Italiano.

A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) Luiz Fernando Rodrigues Pinto Aprovado.

São Paulo, 25 de junho de 2019.

Prof(a). Dr(a). Geraldo Cardoso de Oliveira Neto (UNINOVE / PPGE) - Orientador

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto

Prof(a). Dr(a). Irenilza de Alencar Naas (UNIP/ PPGE) - Membro Externo

naas

Prof(a). Dr(a). Ivanir Costa (UNINOVE / PPGI) - Membro Externo

Ivanir Costa

Prof(a). Dr(a). André Felipe Henriques Librantz (UNINOVE / PPGE) – Membro Interno

André Felipe Henriques Librantz

Prof(a). Dr(a). Wagner Cezar Lucato (UNINOVE / PPGE) - Membro Interno

Wagner Cezar Lucato

## RESUMO

O conceito de Sustentabilidade Forte estabelece que a conservação do ecossistema é base para o desenvolvimento socioeconômico. Apesar do aumento do número de pesquisas sobre esse assunto, a abordagem qualitativa utilizada em estudos sobre Sustentabilidade Forte torna difícil a introdução desse tema no contexto corporativo. A ausência na literatura de modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura com o conceito de Sustentabilidade Forte foi a lacuna identificada por essa pesquisa. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi elaborar um modelo que incorpora a Sustentabilidade Forte na avaliação de sustentabilidade de empresas de manufatura. A investigação utilizou a metodologia *survey* para obter a opinião de especialistas sobre a relevância das métricas de sustentabilidade. As informações coletadas de especialistas foram utilizadas para calcular os pesos de indicadores e a participação de cada dimensão em Sustentabilidade Forte. Os resultados indicaram que a Sustentabilidade Forte é constituída de 48% ambiental, 29% social e 23% econômico. A aplicação do modelo foi realizada em estudo de múltiplos casos em fábricas do setor automotivo, duas no Brasil e duas na Itália. Os resultados revelaram que as quatro empresas estavam no nível regular de Sustentabilidade Forte. No entanto, os desempenhos de sustentabilidade das empresas mostraram padrões diferentes ao longo de cinco anos. Além disso, a análise do desempenho individual das dimensões evidenciou que o crescimento econômico das fábricas brasileiras foi superior ao desenvolvimento socioambiental. O resultado das unidades italianas destacou prioridades distintas. O desempenho ambiental sobressaiu ao socioeconômico em uma fábrica. Entretanto, o segundo caso investigado na Itália demonstrou que o melhor rendimento foi alcançado pela dimensão social.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade Forte; Avaliação de Sustentabilidade; Setor Automotivo; Estudo de Múltiplos Casos.

## ABSTRACT

The concept of Strong Sustainability states that the ecosystem conservation is the ground for the socioeconomic development. Despite the increase of researches on this subject, the qualitative approach of the studies on Strong Sustainability makes hard the introduction of this topic into the corporate context. The lack of model to assess sustainability in manufacturing that take into account the concept of Strong Sustainability was the research gap found by this study. Thus, the aim of this research was building a model that embodies the Strong Sustainability into the sustainability assessment of manufacturing factories. This investigation employed the survey methodology to get the opinion of experts about the relevance of sustainability metrics. The collected data from experts was the input for calculating the weights of indicators and the share of the economic, environmental and social dimensions in Strong Sustainability. The results pointed out that Strong Sustainability consists in 48% environmental, 29% social and 23% economic. The model application was done by means of multiple cases studies in four factories of the automotive industry, two in Brazil and two in Italy. The results shown that the firms were in regular level of Strong Sustainability. Nevertheless, the sustainability performance of the companies shown different patterns throughout five-year period. The economic growth of Brazilian factories was higher than socio-environmental development. On the other hand, the results of Italian units emphasized distinct priorities. The first case shown the environmental performance was higher than the socioeconomic. Meanwhile, the second case in Italy indicated the best performance to the social dimension.

**Keywords:** Strong Sustainability; Sustainability Assessment; Automotive Sector; Multiple Cases Study.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Quantidade de artigos encontrados sobre Sustentabilidade Forte..	19
Figura 2 – Quantidade de artigos encontrados sobre avaliação de sustentabilidade por ano. ....	22
Figura 3 – Quantidade de artigos encontrados sobre avaliação de sustentabilidade por país. ....	22
Figura 4 – Quantidade de artigos encontrados sobre avaliação de sustentabilidade por periódico.....	23
Figura 5 – Classificação dos 251 artigos encontrados sobre avaliação de sustentabilidade por setor empresarial.....	24
Figura 6 – Quantidade de artigos sobre avaliação de sustentabilidade no setor de manufatura por ano. ....	25
Figura 7 – Quantidade de artigos sobre avaliação sustentabilidade no setor de manufatura por periódico.....	26
Figura 8 – Quantidade de artigos sobre avaliação sustentabilidade no setor de manufatura por país. ....	26
Figura 9 – Classificação dos artigos por motivo de exclusão na segunda etapa da seleção de estudos sobre modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura. ....	27
Figura 10 – Artigos selecionados com os modelos de avaliação de sustentabilidade em manufatura que foram referência para esse estudo. ....	31
Figura 11 – Relação de teoria, modelo, solução e realidade. ....	34
Figura 12 – Grupos com a seleção das palavras-chave para a busca de artigos. ....	36
Figura 13 – Combinação das palavras-chave para a busca de artigos. ....	37
Figura 14 – Teste do tamanho mínimo da amostra no software G*Power. ....	40
Figura 15 – Lista de especialistas em Sustentabilidade Forte que responderam o questionário.....	41
Figura 16 – Etapas de construção do modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura. ....	45
Figura 17 – Indicadores econômicos, ambientais e sociais selecionados para o modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura.....	47

Figura 18 – Apresentação do impacto dos indicadores de sustentabilidade em manufatura .....	50
Figura 19 – Escala de comparações em pares dos indicadores. ....	54
Figura 20 – Exemplo de matriz de comparação em pares com notas de especialista em Sustentabilidade Forte.....	55
Figura 21 - Regras de comparação em pares dos indicadores e os valores alocados como resultado da comparação.....	56
Figura 22 – Análise <i>Boxplot</i> de distribuição dos valores dos indicadores econômicos, ambientais e sociais.....	59
Figura 23 – Resultado dos pesos calculados dos indicadores econômicos, ambientais e sociais.....	63
Figura 24 – Participação das dimensões econômica, ambiental e social em Sustentabilidade Fraca e Forte. ....	64
Figura 25 – Desempenho de sustentabilidade das empresas.....	87
Figura 26 – Análise individual das dimensões.....	91



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Respostas de especialistas em Sustentabilidade Forte ao questionário da pesquisa <i>survey</i> .....	53
Tabela 2 – Resultado das comparações em pares das notas de especialistas. .....	57
Tabela 3 – Conversão dos resultados das comparações em pares das notas de especialistas em valores percentuais.....	62
Tabela 4 – Resultados econômicos de BR1 e BR2.....	68
Tabela 5 – Normalização dos dados econômicos de BR1 e BR2 .....	68
Tabela 6 – Ponderação dos dados econômicos de BR1 e BR2.....	69
Tabela 7 – Resultados ambientais absolutos de BR1 e BR2 .....	70
Tabela 8 – Resultados ambientais relativos de BR1 e BR2 .....	71
Tabela 9 – Normalização dos dados ambientais de BR1 e BR2 .....	71
Tabela 10 – Ponderação dos dados ambientais de BR1 e BR2.....	72
Tabela 11 – Resultados sociais de BR1 e BR2.....	73
Tabela 12 – Normalização dos dados sociais de BR1 e BR2 .....	74
Tabela 13 – Ponderação dos resultados sociais de BR1 e BR2 .....	75
Tabela 14 – Resultados econômicos de IT1 e IT2 .....	76
Tabela 15 – Normalização dos dados econômicos de IT1 e IT2.....	77
Tabela 16 – Ponderação dos dados econômicos de IT1 e IT2 .....	77
Tabela 17 – Resultados ambientais absolutos de IT1 e IT2.....	78
Tabela 18 – Resultados ambientais relativos de IT1 e IT2.....	79
Tabela 19 – Normalização dos dados ambientais de IT1 e IT2.....	80
Tabela 20 – Ponderação dos dados ambientais de IT1 e IT2 .....	81
Tabela 21 – Resultados sociais de IT1 e IT2 .....	82
Tabela 22 – Normalização dos dados sociais de IT1 e IT2.....	82
Tabela 23 – Ponderação dos resultados sociais de IT1 e IT2.....	83
Tabela 24 – Resultado dos índices de desempenho das empresas .....	84
Tabela 25 – Escala de desempenho .....	85
Tabela 26 – Análise individual das dimensões.....	90

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	11
1.2 LACUNA DE PESQUISA .....	12
1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.4 QUESTÕES DE PESQUISA .....	16
1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	17
1.6 ESTRUTURA DA TESE .....	17
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA .....	19
2.1 SUSTENTABILIDADE FORTE.....	19
2.2 AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE.....	21
2.3 AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE EM MANUFATURA .....	30
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE PESQUISA.....	34
3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....	35
3.2 SURVEY .....	38
3.3 ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS.....	42
CAPÍTULO 4 – MODELO DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE .....	44
4.1 SELEÇÃO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE .....	45
4.2 IMPACTO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE .....	49
4.3 NORMALIZAÇÃO.....	50
4.4 PONDERAÇÃO DE INDICADORES .....	52
4.5 CONSOLIDAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE.....	64
CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS.....	66
5.1 APRESENTAÇÃO DAS EMPRESAS.....	66
5.2 SUSTENTABILIDADE DE FÁBRICAS NO BRASIL.....	67
5.2.1 Resultados econômicos de BR1 e BR2 .....	67
5.2.2 Resultados ambientais de BR1 e BR2 .....	69

5.2.3 Resultados sociais de BR1 e BR2 .....	72
5.3 SUSTENTABILIDADE DE FÁBRICAS NA ITÁLIA .....	75
5.3.1 Resultados econômicos de IT1 e IT2.....	75
5.3.2 Resultados ambientais de IT1 e IT2.....	78
5.3.3 Resultados sociais de IT1 e IT2 .....	81
5.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SUSTENTABILIDADE .....	83
5.4.1 Desempenho de sustentabilidade .....	84
5.4.2 Análise individual das dimensões de sustentabilidade.....	90
CAPÍTULO 6 – DISCUSSÃO .....	92
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO.....	98
REFERÊNCIAS.....	100
APÊNDICE 1 – Questionário enviado a especialistas em Sustentabilidade Forte 119	
APÊNDICE 2 – Respostas dos gestores de empresas .....	124

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta o contexto no qual está inserido essa pesquisa, a lacuna identificada na literatura, a delimitação do tema, as perguntas de pesquisa, os objetivos estabelecidos e a estrutura da tese.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A preocupação com a sustentabilidade de operações industriais tem sido foco nas tomadas de decisões, que são orientadas para atender as demandas sociais, a preservação ambiental e a lucratividade dos negócios (BÜYÜKOZKAN; KARABULUT, 2018). Neste sentido, produtos e processos sustentáveis incrementam valor à imagem corporativa para a sociedade, o que tem revelado vantagem competitiva para empresas (GUIMARÃES *et al.*, 2018), e vendas impulsionadas por meio do aumento da satisfação e fidelização de clientes (KIM *et al.*, 2011).

A gestão de negócios sustentáveis requer a integração dos processos de mensuração, avaliação e divulgação de seus resultados, com o intuito de melhorar a transparência e o desempenho de suas atividades (MAAS *et al.*, 2016). O processo de mensuração é realizado por meio do monitoramento de indicadores, que são dados de entrada para análise do avanço da sustentabilidade corporativa (SCHALTEGGER; WAGNER, 2006). Com relação a divulgação dos resultados, o padrão definido pelo *Global Reporting Initiative* (GRI) é o mais adotado por empresas para relatar o desempenho de sustentabilidade (HAHN; KUHNEN, 2013).

Em termos de avaliação de sustentabilidade, existem modelos matemáticos desenvolvidos para calcular o desempenho de empresas, com destaque para estudos realizados nos setores de construção civil, agricultura e energia. Por exemplo, a avaliação de sustentabilidade de construções verdes (ATANDA, 2019), de biocombustível de cana de açúcar para suportar políticas públicas (TURETTA *et al.*, 2018) e de soluções sustentáveis para serviço de energia (COSS *et al.*, 2017). No entanto, estudos sobre avaliação de sustentabilidade no setor automotivo apresentam abordagem qualitativa (STOYCHEVA *et al.*, 2018) ou falharam em cobrir os três pilares da

sustentabilidade – preservação ambiental, crescimento econômico e bem-estar social (JASINSKI *et al.*, 2016).

## 1.2 LACUNA DE PESQUISA

A preocupação de *stakeholders* com o esgotamento dos recursos naturais e justiça social tem aumentado a demanda por produtos verdes e processos de produção mais limpos. Neste sentido, o conceito de *Triple Bottom Line* (TBL) sugere o balanço dos fatores econômico, ambiental e social nas tomadas de decisões corporativas (ELKINGTON, 1997). Esse conceito tem influenciado a mudança de mentalidade de gestores e tem ganhado notoriedade em agências reguladoras, consultorias e organizações não-governamentais (RAMBAUD; RICHARD, 2015). Concomitantemente, é crescente a quantidade de empresas que emitem relatórios de sustentabilidade (GARCIA *et al.*, 2016).

Embora exista relevância do TBL para disseminar questões ambientais e sociais em gestão de operações, essa abordagem não é suficiente para assegurar a conservação do ecossistema. O TBL infere peso equivalente para as três dimensões, econômica, ambiental e social, como pilares do desenvolvimento sustentável (JAEHN, 2016), o que denota o paradigma de substituabilidade implícito na Sustentabilidade Fraca (NEUMAYER, 2010).

Por definição, na Sustentabilidade Fraca o capital manufaturado é um bom substituto do capital natural, por exemplo, uma estação de tratamento de efluentes substituiria perfeitamente o serviço ambiental de purificação de água realizado por uma floresta (DALY, 2007). Os limites de esgotamento de recursos naturais são ignorados na análise de Sustentabilidade Fraca, assim como os limites de substituabilidade entre o capital natural e o manufaturado (GIANNETTI *et al.*, 2015). Então, a avaliação pela ótica de Sustentabilidade Fraca conduz a negligenciar o esgotamento de recursos naturais.

Por outro lado, o conceito de Sustentabilidade Forte define que o capital natural é fundamental para o bem-estar humano e o crescimento econômico (DALY, 2007). Essa afirmação é suportada pelo fato de que a disponibilidade de recursos naturais é limitada, enquanto que os produtos manufaturados são reproduzíveis e as demandas sociais mudam a cada geração (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2018). Assim, a escassez ocorre exclusivamente em recursos naturais e a

abordagem de Sustentabilidade Forte é adequada à manutenção do ecossistema (MARTINS, 2016). Entretanto, a quantificação dos limites do sistema natural requer profundo conhecimento da ciência ambiental, o que torna difícil o uso dessa abordagem no contexto corporativo (BJØRN; RØPKE, 2018).

Apesar da complexidade do tema, a abordagem de Sustentabilidade Forte tem sido considerada em pesquisas científicas que avaliaram sustentabilidade. Shang *et al.* (2019) investigaram o progresso da Mongólia por três décadas e concluíram que Sustentabilidade Fraca não é sustentável, sugerindo a abordagem de Sustentabilidade Forte. No Japão, Uehara e Mineo (2017) propuseram um framework para administrar a zona costeira integrada com a perspectiva de Sustentabilidade Forte por meio da definição de valores limiares e resiliência do sistema. Além disso, Shmelev e Rodríguez-Labajos (2009) analisaram o desempenho de quinze países europeus sob a ótica de Sustentabilidade Forte, com base em seis indicadores com metas definidas como limiares pela comissão Europeia.

Também quanto aos limiares do sistema natural, Janeiro e Patel (2015) sugeriram que as tomadas de decisão sejam realizadas com base em fatores que impactam em mudança climática, redução da biodiversidade, ciclos de nitrogênio e fosforo, degradação da camada de ozônio, acidificação de oceanos, disponibilidade de água potável e alterações no solo. Pollesch e Dale (2015) elaboraram um modelo matemático de função de agregação não-compensatória baseado em Sustentabilidade Forte.

Cinelli *et al.* (2014) identificaram três métodos de decisão multicritérios, ELECTRE, PROMETHEE e DRSA, que limitam ou anulam a compensação entre dimensões de sustentabilidade. Romero e Linares (2014) identificaram desvantagens e complicações em utilizar exergia como indicador de Sustentabilidade Forte. Além disso, Prato (2005) utilizou lógica fuzzy para avaliar sustentabilidade de ecossistema sob a perspectiva de Sustentabilidade Forte. Apesar da presença de Sustentabilidade Forte em análises de escala global, as pesquisas com foco em manufatura analisadas nesse estudo ignoraram a abordagem desse tema.

Além disso, a análise realizada em estudos sobre avaliação de sustentabilidade em manufatura identificou falhas na abrangência das dimensões econômica, ambiental e social. Então, estudos apresentaram

ausência de pelo menos uma dimensão na avaliação realizada. Por exemplo, ecoeficiência foi o foco na avaliação de melhorias em sistemas de produção (LIU *et al.*, 2018; SPROEDT *et al.*, 2015), na definição da estratégia de investimentos de indústrias Chinesas de manufatura (KANG, 2018) e na análise de processamento de borracha no Sri Lanka (DUNUWILA *et al.*, 2018). Por outro lado, o fator social foi a única preocupação ao avaliar a sustentabilidade em empresas automotivas Indianas (RAJAK; VINODH, 2015), o salário justo com base na avaliação de ciclo de vida (NEUGEBAUER *et al.*, 2017) e iniciativas operacionais, projetos e tecnologias em indústria (LABUSCHAGNE e BRENT, 2008).

Outro aspecto a ser considerado é a cobertura dos três elementos de manufatura: produto, processo e sistema. Entretanto, a abordagem de algumas investigações foi exclusivamente em nível de produto, para identificar os impactos de sustentabilidade de produto para auxiliar tomadas de decisões em manufatura (EASTWOOD; HAAPALA, 2015; GHADIMI *et al.*, 2012) e para integrar o conceito de ciclo de vida a produtos de manufatura aditiva (MA *et al.*, 2018).

Além disso, foram encontrados estudos com abordagem exclusiva em nível de processo, para comparar usinagem seca a processos tradicionais que usam fluidos de corte (MARKSBERRY; JAWAHIR, 2008), para agregar incertezas de múltiplas fontes em soldagem e injeção de plásticos (NANNAPANENI *et al.*, 2016) e para propor algoritmo de avaliação de sustentabilidade de usinagem (HEGAB *et al.*, 2018).

Ainda, outros estudos avaliaram sustentabilidade por meio da inserção de ferramentas de melhoria de processos, como *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* (ERDIL *et al.*, 2018), *Quality Function Deployment* (BOLAR *et al.*, 2017; LIN *et al.*, 2010) e tecnologias de produção *SERU* (ZHANG *et al.*, 2017). Também, pesquisas identificaram direcionadores e barreiras em desempenho de sustentabilidade por meio de revisão da literatura (NERI *et al.*, 2018; TRIANNI *et al.*, 2017) e estudo de caso em indústria metal mecânica na China (ORJI, 2019).

Com isso, foi notada na análise da literatura a ausência de modelo de avaliação de desempenho de sustentabilidade em manufatura com abordagem de Sustentabilidade Forte, com abrangência das dimensões econômica, ambiental e social e os elementos de manufatura, produto, processo e sistema.

Identificada a lacuna de pesquisa, o desafio é incorporar o conceito de Sustentabilidade Forte em avaliação de sustentabilidade uma vez que os limites do ecossistema não estão definidos. Entretanto, o aumento de estudos nesse campo reflete os esforços de acadêmicos e stakeholders para aprimorar a abordagem sustentável em tomadas de decisões.

### 1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O modelo de avaliação de sustentabilidade proposto nesta pesquisa é extensível a empresas de manufatura. No entanto, a avaliação de sustentabilidade realizada nesse estudo foi concentrada em fábricas do setor automotivo. Mais especificamente, são empresas globais com unidades fabris em vários países, incluindo Brasil e Itália que foram foco neste estudo.

A indústria automotiva demonstra preocupação com o desenvolvimento sustentável, por meio de políticas que visam a redução de custos da não-qualidade, a prevenção de poluição e acidentes, a otimização do uso de recursos naturais e o aperfeiçoamento de funcionários (PUGNA *et al.*, 2016). Além disso, o setor automotivo tem relevante papel na geração de riqueza, na interação com o meio ambiente e emprego e renda para as pessoas (WELLS, 2013).

Na perspectiva econômica, as atividades do setor automotivo corresponderam a 3,65% do PIB mundial em 2017, o que enfatizou sua relevância na geração de riqueza de países (SABERI, 2018). No Brasil, a produção em 2018 foi superior a 2,8 milhões de veículos (ANFAVEA, 2019). Os dados mais recentes divulgados pelo Ministério da Economia revelam que a cadeia automotiva representou 22% do PIB industrial e 4% no PIB total brasileiro em 2015 (ANFAVEA, 2019). No cenário italiano, a cadeia automotiva também é relevante para a economia local. Esse setor industrial contribuiu com a participação de 6% no PIB total italiano em 2017, com mais de 1,1 milhão de veículos produzidos (ANFIA, 2019).

A redução do impacto ambiental também é destaque no setor automotivo. As montadoras de veículos têm suas imagens associadas a seus produtos e processos, internos e externos. Como consequência, a responsabilidade ambiental da montadora extrapola os limites físicos da empresa, o que a torna responsável por impactos ambientais de toda cadeia de fornecimento (VANALLE



*et al.*, 2017). Então, preocupações ambientais foram incorporadas na gestão da cadeia de suprimentos, com o intuito de melhorar o desempenho ambiental das empresas (ZHU *et al.* 2013). Além disso, mudanças nos veículos têm ocorrido ao longo dos anos, com o intuito de reduzir emissão de gases poluentes e adequar a destinação das peças e fluídos em final de vida (NUNES *et al.*, 2010).

Ações voltadas para atender demandas sociais também estão presentes na gestão da cadeia automotiva. Em 2018, o setor automotivo empregou 1,3 milhão de pessoas no Brasil (ANFAVEA, 2019) e 1,2 milhão na Itália (ANFIA, 2019). Além disso, investigações realizadas em empresas do setor automotivo revelaram a aplicação de códigos de conduta que abrangem direitos humanos, condições de trabalho, ética em negócios (HILSDORF *et al.*, 2017) e o respeito às diferenças culturais (SARKIS, 2012).

Embora os dados sejam positivos em ambos países, existem diferenças nos contextos a que estão inseridos. A produção de veículos na Europa representou 23% do volume global em 2017, enquanto que a produção na América do Sul foi de 3% (ACEA, 2018). Além disso, o levantamento do número de certificações ISO14001, em 2013, apontou a Itália em segundo lugar mundial com 24.662 empresas certificadas e o Brasil em décimo terceiro, com 3.695 certificações (NEVES *et al.*, 2017).

Neste contexto, a avaliação de sustentabilidade realizada nessa pesquisa, por meio da aplicação do modelo desenvolvido, foi delimitada a empresas dos setores automotivos brasileiro e italiano. O intuito foi revelar os desempenhos de sustentabilidade de empresas nos dois países e comparar os desempenhos de cinco anos de operações.

#### 1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

A investigação na literatura revelou uma lacuna a ser explorada por esse estudo. Com isso, a etapa seguinte refere-se à formulação de questões de pesquisa, que auxiliaram a direcionar o trabalho para atingir o seu objetivo. Neste sentido, a questão central da pesquisa foi a seguinte:

- Como avaliar desempenho de sustentabilidade em manufatura abrangendo as três dimensões de sustentabilidade, os elementos de manufatura e a Sustentabilidade Forte?

A resposta desse questionamento foi facilitada pelo desdobramento da pergunta principal de pesquisa em um conjunto de quatro questões específicas:

- Quais são os indicadores chave de desempenho para mensurar sustentabilidade em manufatura?
- Os indicadores têm o mesmo peso na avaliação de desempenho de sustentabilidade sob a ótica de Sustentabilidade Forte?
- Como calcular o desempenho de sustentabilidade de indústrias sob a ótica de Sustentabilidade Forte?
- Como é o desempenho de empresas do setor automotivo com operações no Brasil e na Itália?

### 1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA

Este estudo teve como objetivo propor uma abordagem quantitativa de avaliação de desempenho de sustentabilidade em manufatura, com abrangência das três dimensões de sustentabilidade e os elementos de manufatura, sob a ótica de Sustentabilidade Forte. Para alcançar esse objetivo geral, foram estabelecidos cinco objetivos específicos:

- Definir um conjunto de indicadores para medir sustentabilidade em manufatura;
- Estabelecer o peso de cada indicador sob a perspectiva de Sustentabilidade Forte;
- Desenvolver um modelo matemático para calcular o desempenho de sustentabilidade de empresas;
- Coletar dados de sustentabilidade de indústrias dos setores automotivos brasileiro e italiano;
- Avaliar o desempenho de sustentabilidade de empresas em diferentes países, sob a ótica de Sustentabilidade Forte.

### 1.6 ESTRUTURA DA TESE

A tese é constituída de sete capítulos. No capítulo introdutório foi apresentada uma visão geral do contexto no qual esse trabalho de pesquisa está inserido. Também, foi relatada a investigação que identificou a lacuna de pesquisa existente. Na sequência, foram apresentadas as perguntas de pesquisa e definidos os objetivos, que orientaram o desenvolvimento desse estudo no intuito de obter as respostas das levantadas.

No segundo capítulo foi apresentada a revisão da literatura, que consistiu na análise de artigos científicos publicados em periódicos internacionais sobre modelos de avaliação de sustentabilidade em manufatura. O conteúdo desse capítulo proporcionou a base teórica para elaboração do modelo matemático proposto nesse estudo.

No terceiro capítulo foi detalhada a metodologia de pesquisa que foi utilizada no desenvolvimento deste trabalho. A construção do modelo de avaliação de Sustentabilidade Forte em manufatura consistiu inicialmente da identificação de indicadores de sustentabilidade em manufatura, realizada por meio de revisão sistemática da literatura. Posteriormente, foi realizado *survey* com especialistas em Sustentabilidade Forte para ponderar os indicadores utilizados no modelo. Também, a aplicação do modelo foi realizada em estudo de múltiplos casos em empresas do setor automotivo.

No quarto capítulo foram descritas as etapas de construção do modelo matemático. Primeiro, foram consolidados os indicadores de desempenho econômico, ambiental e social em manufatura. Também, foram revelados os pesos dos indicadores atribuídos pelos especialistas. Por fim, a equação utilizada para calcular o índice de sustentabilidade.

No quinto capítulo foi apresentado o estudo de múltiplos casos realizados em quatro empresas dos setores automotivos brasileiro e italiano. Ressalta-se que o conteúdo desse capítulo não está disponível no trabalho apresentado para a Qualificação da Tese.

No sexto capítulo, foi abordada a discussão dos resultados obtidos em fábricas brasileiras e italianas com a aplicação do modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura. Também, foram mostradas as opiniões de gestores de três empresas investigadas sobre a contribuição prática do modelo desenvolvido.

Para concluir, no capítulo sete foram realizadas as considerações finais das constatações dessa pesquisa. Também, foram reveladas as limitações e sugestões para pesquisas futuras.

## CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA

Nesse capítulo é apresentada a revisão da literatura sobre Sustentabilidade Forte, avaliação de sustentabilidade e os modelos para avaliar desempenho de sustentabilidade em manufatura.

### 2.1 SUSTENTABILIDADE FORTE

O conceito de Sustentabilidade Forte assume que o ecossistema é capital crítico na sustentabilidade, o que implica em realizar atividades econômicas e atender demandas sociais em complemento à conservação do ecossistema (DALY, 2007). Um contraponto a esse conceito é a Sustentabilidade Fraca, que permite que o capital manufaturado substitua o capital natural, por exemplo, a construção de estações de tratamento de água para compensar os serviços naturais prejudicados pelo desmatamento e contaminação de mananciais (DALY, 2007).

O aumento da quantidade de estudos sobre Sustentabilidade Forte ao longo dos anos, mostrado no gráfico 1, denota o interesse de acadêmicos em aprimorar o conhecimento sobre o tema.

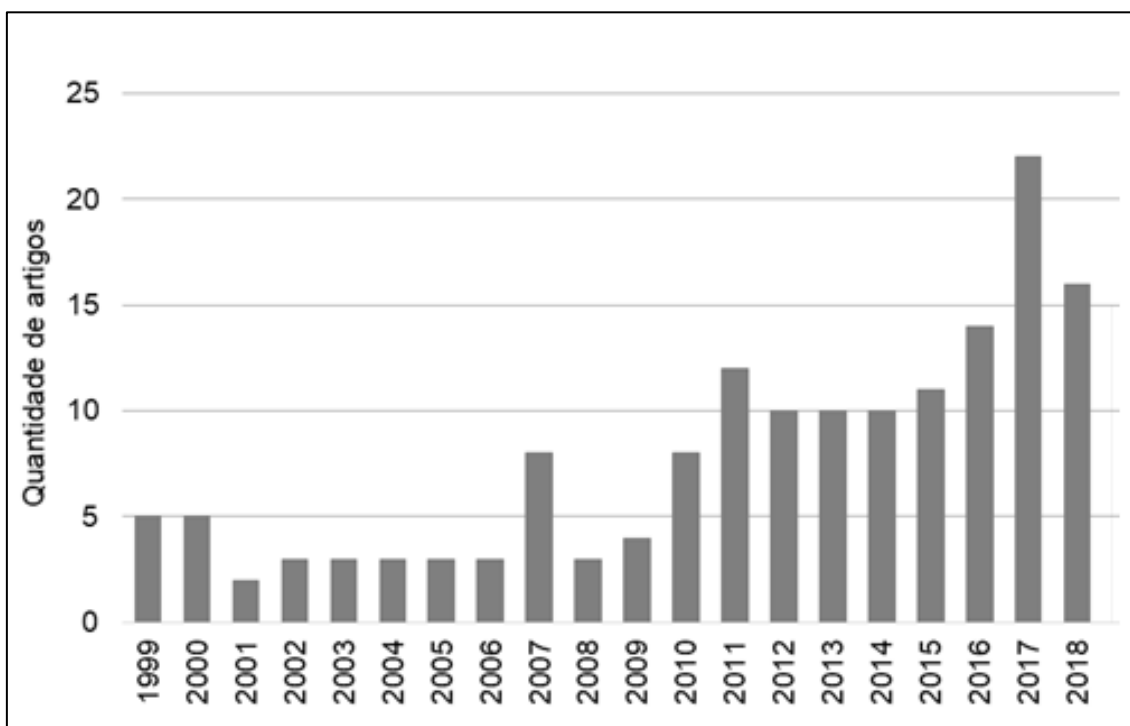


Figura 1 – Quantidade de artigos encontrados sobre Sustentabilidade Forte.  
Fonte: Levantamento realizado em bases de dados pelo autor.

A compensação e substituição entre as dimensões de sustentabilidade têm sido amplamente abordadas na literatura, destacando a diferença entre os tipos de Sustentabilidade Fraca e Forte. Neste contexto, estudos elaboraram frameworks de rotulagem socioambiental em produtos e processos (NIKOLAOU; TSALIS, 2018), de ações para promover a Sustentabilidade Forte em operações empresariais (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2018) e de aplicação do capital natural como crítico para identificar prioridades e políticas para a Sustentabilidade Forte (EKINS *et al.*, 2003).

Além disso, Bjørn e Røpke (2018) apresentaram métodos que se baseiam no conceito de limites de ecossistema e na avaliação do ciclo de vida. Martins (2016) identificou restrições para a Sustentabilidade Forte devido ao predomínio da economia neoclássica. Lorek e Fuchs (2013) concluíram que a Sustentabilidade Fraca não é apropriada para os desafios de desenvolvimento sustentável e propôs diretrizes de consumo baseadas em Sustentabilidade Forte para delinear as deficiências a ser corrigidas por reformas políticas. Nilsen (2010) destacou a necessidade de acadêmicos, governantes e gestores buscarem alternativas de Sustentabilidade Forte para o desenvolvimento global. Dietz e Neumayer (2007) apontaram as melhores práticas em medição de Sustentabilidade Forte e Fraca.

Em estudos aplicados no campo prático, Pelenc e Ballet (2015) analisaram as relações entre bem-estar humano e capital natural crítico para demonstrar a implementação de projetos de desenvolvimento humano pela ótica de Sustentabilidade Forte. Bishop *et al.* (2010) propuseram um modelo utilizando Sustentabilidade Forte para integrar a geração de eletricidade por combustíveis compostos, que reduziu a dependência de combustíveis importados e aumentou o uso de fontes renováveis para geração de energia. Garmendia *et al.* (2010) analisaram o papel de limiares críticos e sugeriram ferramentas para melhorar gestão e regulamentação em pesca. Baumgärtner e Quaas (2009) aplicaram critérios de Sustentabilidade Forte para gerenciar pastagem de pecuária.

Assim, iniciativas de aplicações de Sustentabilidade Forte na prática empresarial contribuíram para disseminar esse conceito. Aspectos como o aumento de eficiência no consumo de recursos naturais, a utilização de fontes renováveis de energia e materiais, associados à redução de poluição do ar, água

e solo, são pilares de Sustentabilidade Forte. Entretanto, a abordagem qualitativa empregada nos estudos citados denota a dificuldade em identificar os limites do ecossistema. Com isso, a literatura é carente de estudo quantitativo que determine parâmetros de consumo de recursos naturais e emissão de poluentes.

## 2.2 AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE

As atividades econômicas globais crescem de maneira insustentável (BÜYÜKOZKAN e KARABULUT, 2018). No entanto, o contraponto proveniente de demandas de stakeholders por justiça social e preservação do ecossistema orientam os tomadores de decisão a buscar por soluções que aumentam o nível de sustentabilidade de seus produtos e processos (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2018). Neste contexto, o controle e monitoramento de processos é base para administrar operações sustentáveis (MORIOKA; CARVALHO, 2016), enquanto que critérios múltiplos refletem a complexidade da avaliação de sustentabilidade para a alta direção (MARTÍN-GAMBOA *et al.*, 2017).

A busca na literatura realizada pelo pesquisador por modelos de avaliação de sustentabilidade em manufatura resultou em 251 artigos. O número crescente de estudos realizados a partir de 2013 denotou o interesse de pesquisadores e periódicos sobre esse tema. A quantidade de publicações por ano sobre avaliação de sustentabilidade em manufatura está mostrada na figura 2.

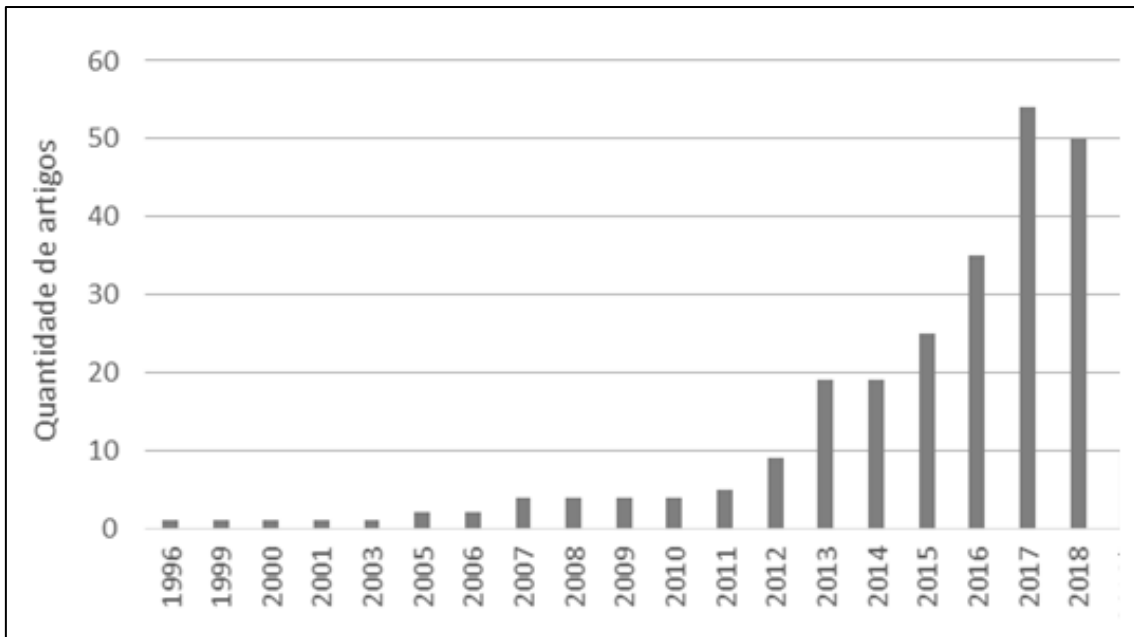


Figura 2 – Quantidade de artigos encontrados sobre avaliação de sustentabilidade por ano.  
 Fonte: Levantamento realizado em bases de dados pelo autor.

Outro aspecto observado foi que quase cinquenta por cento dos estudos foram realizados em cinco países: EUA, China, Índia, Itália e Reino Unido. A quantidade de artigos sobre avaliação de sustentabilidade por país está apresentada na figura 3.

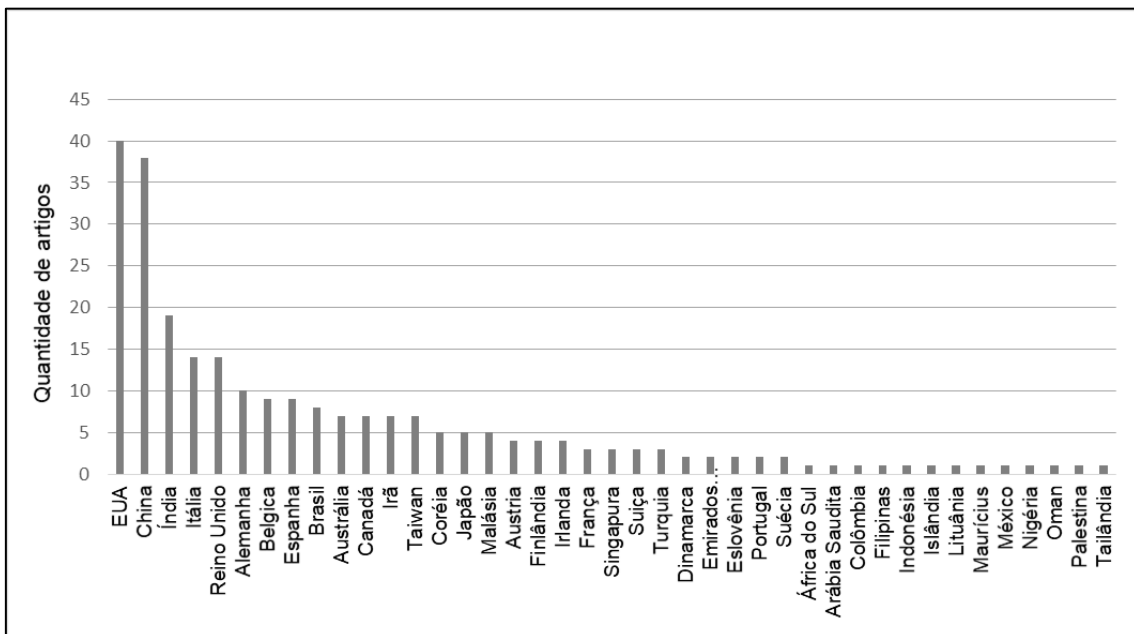


Figura 3 – Quantidade de artigos encontrados sobre avaliação de sustentabilidade por país.  
 Fonte: Levantamento realizado em bases de dados pelo autor.

A busca por publicações sobre avaliação de sustentabilidade em manufatura retornou artigos de sessenta e cinco periódicos. O *Journal of Cleaner Production* publicou quase quarenta por cento dos artigos encontrados. O *Journal of Cleaner Production* publica muitos volumes por ano. Além disso, a linha editorial dessa revista avançou os limites da ecoeficiência, tratados na Produção Mais Limpa. Nesse sentido, o aspecto social tem sido inserido nos estudos publicados, o que tornou o termo ‘sustentabilidade’ usual em resumo e palavras-chave. A quantidade de artigos sobre avaliação de sustentabilidade por periódico está mostrada na figura 4.

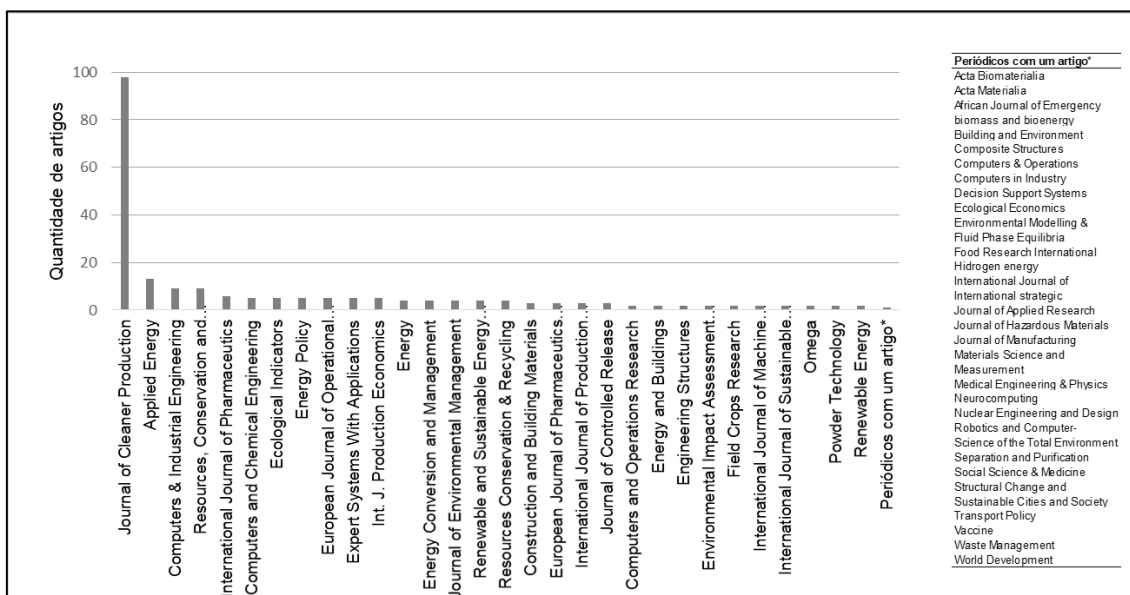


Figura 4 – Quantidade de artigos encontrados sobre avaliação de sustentabilidade por periódico.

Fonte: Levantamento realizado em bases de dados pelo autor.

Apesar do uso das palavras ‘*manufacturing*’ ou ‘*industry*’, 179 estudos dos 251 artigos encontrados foram realizados em outros setores, como geração e uso de energia, gestão da cadeia de suprimentos, construção civil e cidades, gestão de resíduos e reciclagem, setores químico, farmacêutico e de transportes. Essa constatação denotou que 179 artigos estavam fora do escopo dessa pesquisa e por este motivo foram excluídos da análise de conteúdo. O



resultado do primeiro filtro com a quantidade de artigos e descrição do setor de atividade estão mostrados na figura 5.

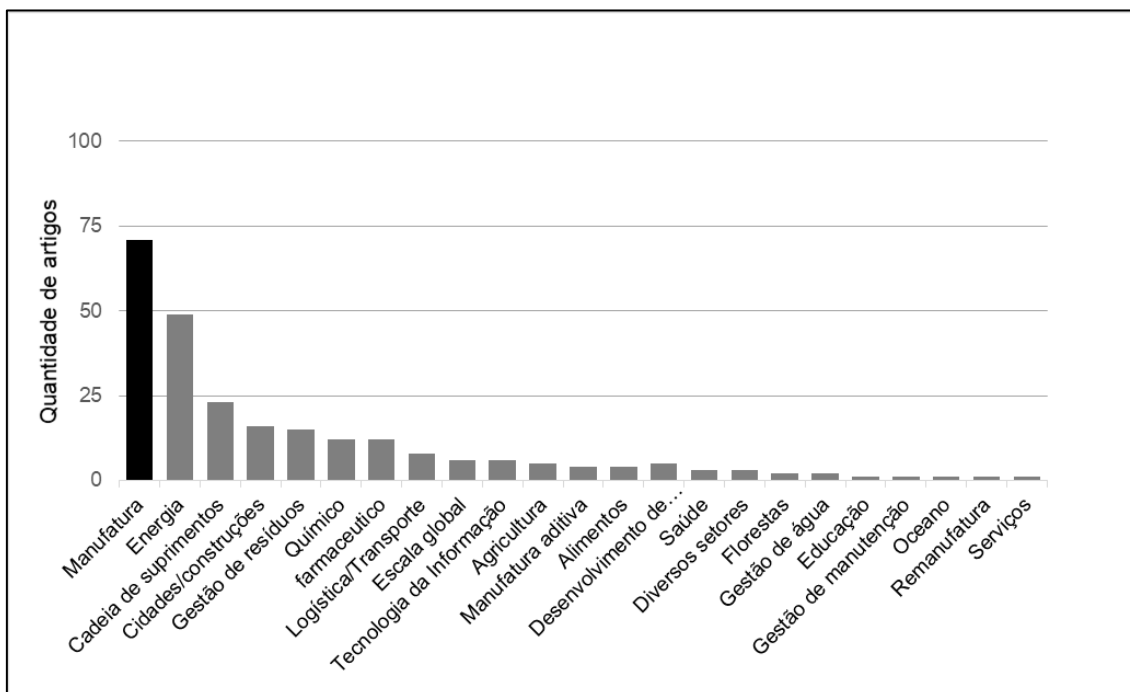


Figura 5 – Classificação dos 251 artigos encontrados sobre avaliação de sustentabilidade por setor empresarial.

Fonte: Levantamento realizado em bases de dados pelo autor.

A primeira triagem nos artigos resultou em 72 estudos que abordaram a avaliação de sustentabilidade em empresas de manufatura. Mais de cinquenta por cento das pesquisas foram publicadas entre 2017 e 2019. Esse achado ressaltou que a avaliação de sustentabilidade em manufatura é um tema que tem sido explorado em pesquisas recentes. A quantidade de artigos por ano sobre avaliação de sustentabilidade em empresas de manufatura está mostrada na figura 6.

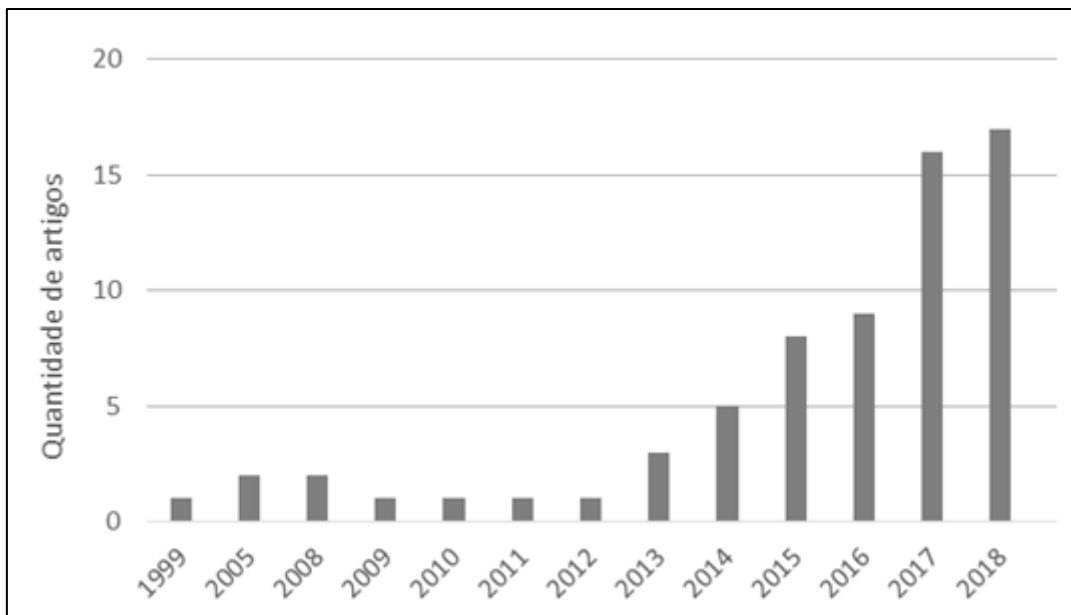


Figura 6 – Quantidade de artigos sobre avaliação de sustentabilidade no setor de manufatura por ano.

Fonte: Levantamento realizado em bases de dados pelo autor.

O *Journal of Cleaner Production* foi o periódico que mais publicou estudos sobre avaliação de sustentabilidade em manufatura. A preferência da linha editorial dessa revista por estudos de casos em indústrias, associada à elevada quantidade de volumes publicados por ano, pode ser a justificativa para os artigos sobre esse tema estarem concentrados no *Journal of Cleaner Production*. A quantidade de artigos publicados por periódico está mostrada na figura 7.

Outro aspecto notado foi que metade da quantidade de estudos estão concentrados em cinco países: EUA, China, Índia, Reino Unido e Brasil. Dois estudos realizados na Austrália e um na África do Sul denotaram que a avaliação de sustentabilidade em manufatura foi estudada nos cinco continentes. Entretanto, as pesquisas foram mais intensificadas na América, Ásia e Europa. A quantidade de artigos publicados sobre avaliação de sustentabilidade em manufatura por país está apresentada na figura 8.

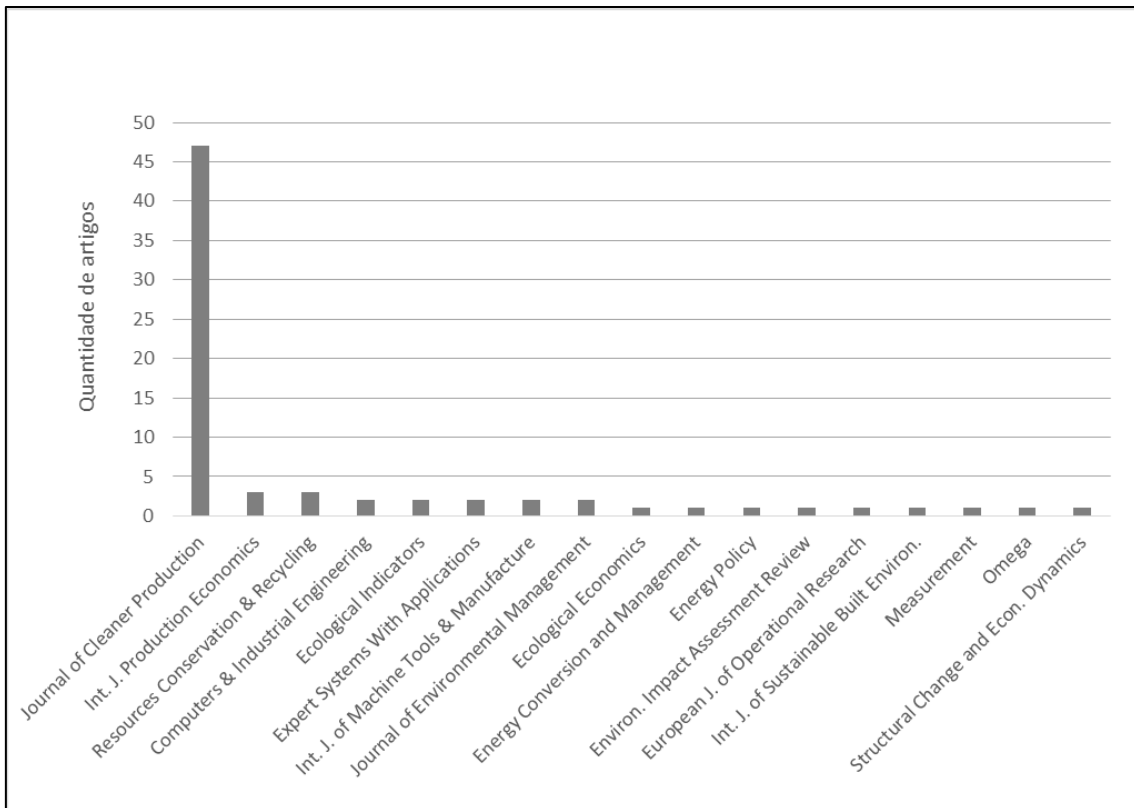


Figura 7 – Quantidade de artigos sobre avaliação sustentabilidade no setor de manufatura por periódico.

Fonte: Levantamento realizado em bases de dados pelo autor.

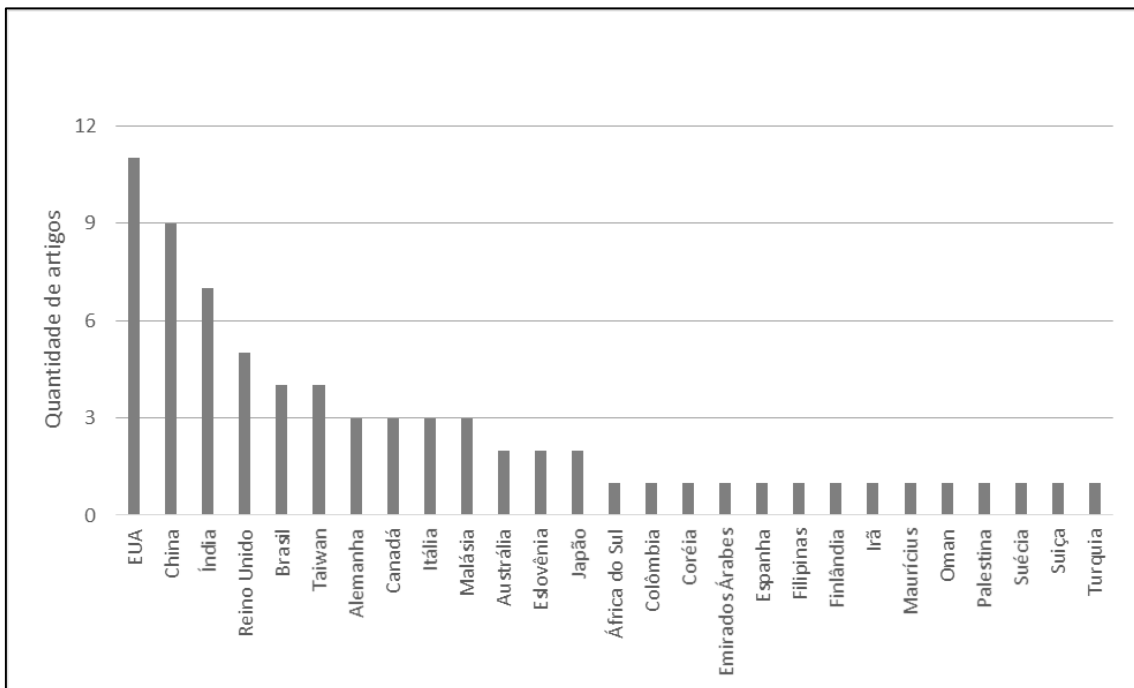


Figura 8 – Quantidade de artigos sobre avaliação sustentabilidade no setor de manufatura por país.

Fonte: Levantamento realizado em bases de dados pelo autor.

A análise de conteúdo desses artigos apontou sete estudos que propuseram modelos para avaliar desempenho de sustentabilidade, cobrindo os aspectos econômico, ambiental e social e com abrangência de produto, processo e sistema. Os outros 65 estudos falharam em pelo menos um dos critérios citados anteriormente. Os artigos excluídos no segundo filtro estão mostrados na figura 9.

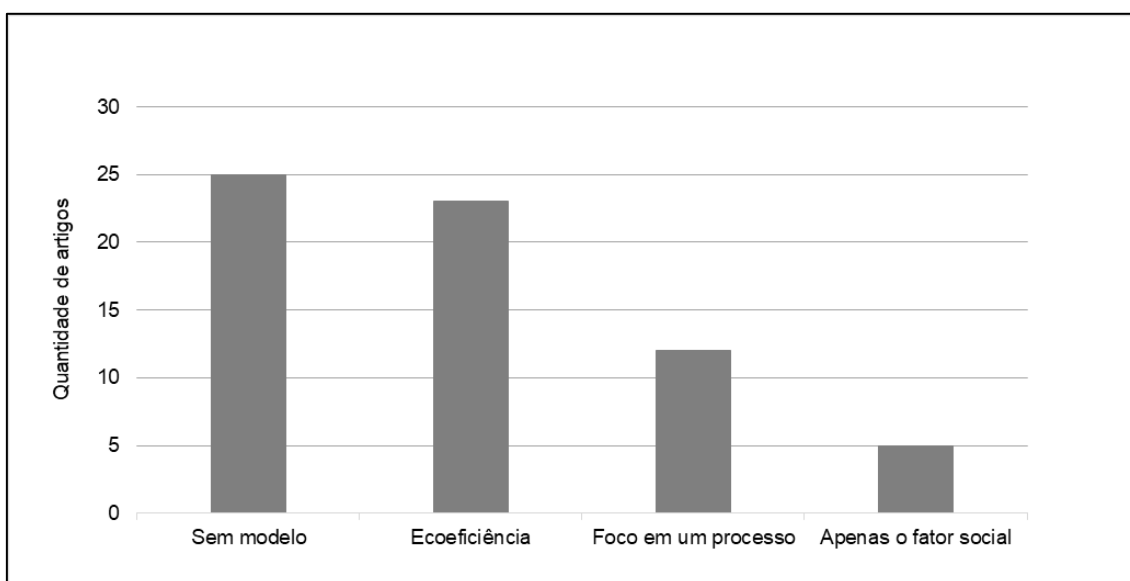


Figura 9 – Classificação dos artigos por motivo de exclusão na segunda etapa da seleção de estudos sobre modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura.  
Fonte: Levantamento realizado em bases de dados pelo autor.

Um grupo de 25 estudos encontra-se fora do escopo dessa pesquisa devido à ausência de modelo de avaliação de sustentabilidade. Estudos de caso identificaram fatores que exercem influência em desempenho de sustentabilidade, direcionadores e barreiras em empresas na China (ORJI, 2019), Indonésia (BORGERT *et al.*, 2018), Taiwan (TSAI, 2018) e Reino Unido (BALDWIN *et al.*, 2005).

Além disso, outros casos mostraram as práticas de sustentabilidade em projetos *Lean Six Sigma* (ERDIL *et al.*, 2018), a correlação entre *Triple Bottom Line* e *Balaced Scorecard* (NICOLETTI JUNIOR *et al.*, 2018), as vantagens de *Lean Cleaner Production* (RAMOS *et al.*, 2018) e os benefícios de *Green & Lean* em pequenas e médias empresas indianas (THANKI *et al.*, 2016).

Em adicional, estudos quantitativos aplicaram *Quality Function Deployment* (QFD) para definir prioridades de atividades de manutenção (BOLAR *et al.*, 2017) e classificar os indicadores de desempenho chave em manufatura (LIN *et al.*, 2010). Ainda, indicadores de sustentabilidade foram integrados ao Lean Manufacturing para avaliar processos operacionais (HELLENO *et al.*, 2017).

Nessa linha, estudos conduzidos por entrevistas apontaram práticas de negócios sustentáveis de pequenas e medias empresas (CALDERA *et al.*, 2018), o caminho evolucionário de operações sustentáveis (MACHADO *et al.*, 2017) e os parâmetros na análise de ciclo de vida de veículos sob as óticas de processamento e consumo (JASINSKI *et al.*, 2016). Também, foram identificados os impulsionadores e barreiras de manufatura sustentável na Itália (NERI *et al.*, 2018; TRIANNI *et al.*, 2017) e na Índia (BHANOT *et al.*, 2017).

Além disso, estudos teórico-conceitual por meio de revisão da literatura identificaram os indicadores de manufatura sustentável mais utilizados (AKBAR; IROHARA, 2018), as metas que suportam o desenvolvimento de produtos sustentáveis (GBEDEDU *et al.*, 2018) e os aspectos levados em conta em tomada de decisão do local de instalação de fabricas (CHEN *et al.*, 2014).

Também, foi realizada análise de efeito nas dimensões de sustentabilidade pela adoção de pensamento Lean e Green (CALDERA *et al.*, 2017) e do sistema de produção japonês *SERU* (ZHANG *et al.*, 2017). Em adicional, foi elaborado um framework com orientações para avaliação de sustentabilidade (SAAD *et al.*, 2019), uma matriz de termos técnicos utilizados para descrever processos de produção (GARRETSON *et al.*, 2016) e o inventário de pesquisas sobre avaliação de sustentabilidade em manufatura (LEE; LEE, 2014).

Outro critério de exclusão foi a abordagem exclusiva em ecoeficiência, desconsiderando o aspecto social, o que resultou na rejeição de 23 artigos. A contagem de CO<sub>2</sub> foi o objetivo para investigar a indústria de cimento (JOKAR; MOKHTAR, 2018; ABDUL-WAHAB *et al.*, 2016), as novas tecnologias de solda e torneamento (WARD *et al.*, 2017), indústria de ferro e aço (QUADER *et al.*, 2016), a cadeia de suprimentos na indústria de bens de consumo (THEIßEN; SPINLER, 2014) e, um parque ecoindustrial (DONG *et al.*, 2013).

Em termos de gestão de energia, investigações propuseram métodos para aumentar eficiência energética em entregas de produtos (ZHOU; SHEN, 2018), em indústrias leves e pesadas (KANG *et al.*, 2018) em departamentos de indústrias de manufatura (MARTÍNEZ; PINA, 2016), em processos de solda e injeção de plásticos (NANNAPANENI *et al.*, 2016), no uso combinado de eletricidade da rede e de geração interna (ZHU *et al.*, 2015) e na definição da espessura de material removido em usinagem (BALOGUN; MATIVENGA, 2014).

Além disso, a mitigação de impacto ambiental foi o propósito para calcular o balanço de massa em setores de autopeças (LIU *et al.*, 2018), borracha natural (DUNUWILA *et al.*, 2018), siderurgia (ZHOU; SHEN, 2017), cimento (SUPINO *et al.*, 2016), químico (SAAVALAINEN *et al.*, 2017; ALKAYA; DEMIRER, 2015), bens de consumo, embalagens, alimentos e metal-mecânico (SPROEDT *et al.*, 2015), placas compostas de particulado de madeira (SARAVIA-CORTEZ *et al.*, 2013) e papel e celulose (CULABA; PURVIS, 1999). Ainda, Bai e Sarkis (2017) aplicaram um modelo baseado em critérios de flexibilidade e meio ambiente para avaliar tecnologias de manufatura avançada em três empresas globais de manufatura e González-Mejía e Ma, (2017) utilizou dinâmica de fluxo de energia para avaliar sustentabilidade de Porto Rico ao longo do período de transição de economia com base em agrícola para industrial.

Também, estudos sobre avaliação de sustentabilidade com enfoque em único processo ficaram fora dessa pesquisa. Neste caso, 12 investigações de desempenho de sustentabilidade utilizaram métricas específicas a tipos de processos de manufatura. A abordagem de multicritérios de sustentabilidade suportou a tomada de decisão para escolher tecnologias de manufatura avançada (NATH; SARKAR, 2017), o melhor projeto de produto para fabricação de engrenagens (EASTWOOD; HAAPALA, 2015), a localização de nova fábrica de produtos químicos (CAI *et al.*, 2015) e alternativas de usinagem aos processos convencionais (PUSAVEC *et al.*, 2015).

Adicionalmente, a abordagem de sustentabilidade esteve presente na análise de processos de manufatura que avaliaram parâmetros de corte em torneamento de aço inoxidável duro (SIVAIAH; CHAKRADHAR, 2019), os estágios de ciclo de vida desde pré-manufatura até pós-uso (HEGAB *et al.*, 2018), as características de integridade superficial em usinagem de Inconel 718 (KADAM; PAWADE, 2017), os impactos econômicos, ambiental e social em

células de trabalho (ZHANG; HAAPALA, 2015), a sustentabilidade em fabricação de peças estampadas (LEE *et al.*, 2014), os efeitos de máquinas modulares, unidades auxiliares e códigos de máquinas (BALOGUN; MATIVENGA, 2013) e a medição de desempenho de vida de ferramenta (MARKSBERRY; JAWAHIR, 2008). No campo teórico, (ULUTAN; OZEL, 2011) identificaram os principais problemas em usinagem de ligas de titânio e níquel por meio de revisão da literatura.

Estudos dedicados exclusivamente a dimensão social também ficaram fora dessa pesquisa. A negligência de cinco investigações sobre os fatores econômico e ambiental denotou falha dos modelos em realizar avaliação completa de sustentabilidade. Neste grupo, Neugebauer *et al.* (2017) calcularam salários justos ao longo do ciclo de vida de produto. Também, Rajak e Vinodh (2015) aplicaram lógica fuzzy para avaliar desempenho de sustentabilidade social. Além disso, Labuschagne e Brent (2008) construíram um framework com critérios sociais para avaliar desempenho de sustentabilidade de tecnologias de processos e produtos. Em adição, foram avaliados os impactos das práticas de Gestão de Recursos Humanos Verde em indústrias na Índia (GUPTA, 2018) e na Palestina (MASRI; JAARON, 2017).

### 2.3 AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE EM MANUFATURA

Sete pesquisas desenvolveram modelos para avaliar desempenho de sustentabilidade em manufatura. A aplicação dos modelos na prática corporativa foi realizada por meio de seis estudos de caso e dois surveys. Três estudos de caso avaliaram sustentabilidade em empresas do setor automotivo (JIANG *et al.*, 2018; SABAGHI *et al.*, 2016; GHADIMI *et al.*, 2012). Ainda, um modelo de avaliação de sustentabilidade foi aplicado em empresa de fabricação de produtos médicos (TSENG *et al.*, 2009) e outro no setor Químico (KRAJNC; GLAVIC, 2005). Os survey foram realizados em empresas dos setores têxtil, alimentícios e de saúde em Ilhas Maurício (BEEKAROO *et al.*, 2019) e em vinte pequenas e médias empresas em Taiwan (CHANG; CHENG, 2019). Informações sobre os sete estudos selecionados estão apresentadas na figura 10.





A construção dos sete modelos matemáticos citados anteriormente foi iniciada com a definição dos indicadores para mensurar desempenho de sustentabilidade. Em seguida, foram encontrados métodos para consolidar dados de diferentes dimensões em indicador único. Na sequência, foram atribuídos pesos para cada indicador de acordo com sua relevância para a sustentabilidade. Por último, a consolidação de pesos e indicadores para o cálculo do índice de sustentabilidade de indústrias.

A investigação de Jiang *et al.* (2018) mensurou o resultado econômico pelas métricas de vendas, faturamento, custo operacional, lucro, pesquisa e desenvolvimento, participação no mercado e eficiência global de equipamento. Em termos ambientais, foram monitorados os consumos de energia e água, a conservação do habitat natural, emissão de gases poluentes, efluente industrial e resíduos sólidos. A dimensão social foi medida por Jiang *et al.* (2018) pela satisfação no trabalho, número de acidentes, treinamento de funcionários, equidade de gênero, investimento em projetos sociais e satisfação de cliente.

Sabaghi *et al.* (2016) usaram os custos operacionais para medir o resultado econômico. Em termos ambientais, os indicadores foram consumos de materiais não-renováveis e renováveis, projeto para ciclo de vida, materiais perigosos, reciclagem, reuso, energia, água, emissão de gases poluentes, efluente industrial e resíduos sólidos. No aspecto social, Sabaghi *et al.* (2016) mediram a quantidade de acidentes.

No estudo de Ghadimi *et al.* (2012), custo operacional foi o indicador econômico. O monitoramento ambiental foi realizado no consumo de materiais não-renováveis, renováveis e perigosos, emissão de gases poluentes, efluente industrial e resíduos sólidos. Na dimensão social, Ghadimi *et al.* (2012) contaram o número de acidentes.

A investigação de Tseng *et al.* (2009) utilizou custos operacionais como medida econômica. O desempenho ambiental foi mensurado pelo consumo de materiais não-renováveis e renováveis, projeto para ciclo de vida, materiais perigosos, reciclagem, reuso, consumos de energia e água, emissão de gases poluentes, efluente industrial e resíduos sólidos. Os fatores sociais foram sugestão de melhorias, satisfação no trabalho, dias de trabalho perdidos, número de acidentes, treinamento de funcionários e satisfação de cliente.

Na pesquisa de Krajnc e Glavic (2005), vendas, lucro e investimento em pesquisa e desenvolvimento foram os indicadores econômicos. As variáveis ambientais foram consumo de materiais não-renováveis, renováveis e perigosos, reciclagem, consumos de energia e água, emissão de gases poluentes, efluente industrial e resíduos sólidos foram as métricas utilizadas. Em termos sociais, Krajnc e Glavic (2005) levaram em conta número de funcionários, sugestão de melhorias, quantidade de acidentes e investimentos em projetos sociais.

Após a definição dos indicadores de sustentabilidade, a etapa seguinte foi estabelecer o método de tratamento de dados para convertê-los em valores adimensionais. Os indicadores de sustentabilidade são mensurados em diferentes grandezas. As sete investigações utilizaram o processo de normalização para converter os dados econômicos, ambientais e sociais em valores adimensionais.

O próximo passo foi a definição de pesos para os indicadores econômicos, ambientais e sociais. O conhecimento de especialistas de diversos segmentos foi utilizado para construir modelos ponderados de sustentabilidade por meio de regressão linear múltipla (BEEKAROO *et al.*, 2019) e Análise Relacional Cinza (CHANG; CHENG, 2019). Em estudos de casos no setor automotivo, os desempenhos de sustentabilidade corporativa foram calculados pela Análise de Componente Principal (JIANG *et al.*, 2018) e pelo Processo Hierárquico Analítico Fuzzy (SABAGHI *et al.*, 2016; GHADIMI *et al.*, 2012). Além disso, o Processo de Rede Analítico foi utilizado para elaborar o modelo que avaliou a sustentabilidade de fábrica de produtos médicos (TSENG *et al.*, 2009) e o Processo Hierárquico Analítico foi o método aplicado para ponderar os indicadores econômicos, ambientais e sociais em avaliação de indústria Química (KRAJNC; GLAVIC, 2005).

É importante ressaltar que os sete modelos selecionados não consideraram a Sustentabilidade Forte na avaliação de sustentabilidade em manufatura. Devido a este motivo, a referência aos modelos citados ficou limitada à identificação dos indicadores econômicos, ambientais e sociais utilizados em empresas de manufatura, ao método de coleta de dados para ponderação das métricas de sustentabilidade e à estrutura de etapas para construção do modelo.

### CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE PESQUISA

O intuito desse capítulo é apresentar a abordagem metodológica aplicada no desenvolvimento desse estudo. A realização de pesquisa científica requer observar a natureza do fenômeno sob investigação (ontologia) e como ele pode ser afetado pela ação humana (epistemologia) (EASTERBY-SMITH *et al.*, 2012). Ontologia e epistemologia influenciam os métodos e técnicas de investigação, sendo a combinação de ambos definida como um paradigma de pesquisa (BRYMAN; BELL, 2007). Ainda, ambos têm impacto na abordagem de idéias e estrutura do processo de pesquisa, criando acesso aos fundamentos para transformar a teoria em conceitos explicativos (SAUNDERS *et al.*, 2012). O modelo de Van de Ven (2007), ilustrado na figura 11, sugere uma estrutura que conecta teorias a modelos conceituais, evidências da realidade e resoluções por meio de formulação do problema, construção de teoria, projeto de pesquisa e resolução de problemas.

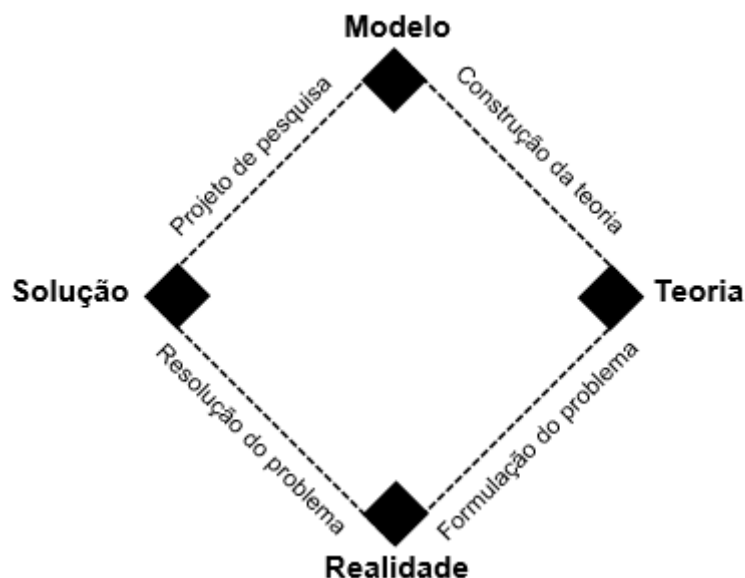


Figura 11 – Relação de teoria, modelo, solução e realidade.  
Fonte: Adaptado de Van de Ven (2007)

Existe uma indefinição na área acadêmica sobre o que surgiu primeiro, dados ou teoria. Esse dilema surge do fato de que é difícil a coleta de dados sem base teórica, assim como desenvolver um *framework* sem informações (REMENYI, 1996). O modelo proposto por Van de Ven (2007) corrobora esse

dilema, indicando que pesquisa científica pode começar a partir de qualquer ponto.

Neste sentido, essa pesquisa considerou os vértices de realidade e teoria como pontos iniciais da investigação. Assim, a formulação do problema consistiu em reconhecer carências na indústria por meio de análise da literatura e trabalhos exploratórios. Na sequência, a construção da teoria possibilitou identificar os caminhos para concretizar teoria em modelo. Com a elaboração do modelo, o projeto de pesquisa definiu como desenvolver soluções para o problema de pesquisa. Então, a última etapa consistiu em encontrar uma conexão entre teoria e prática para aplicação do modelo.

Dessa forma, o modelo matemático (solução) que avalia o desempenho de sustentabilidade em manufatura, sob a ótica de Sustentabilidade Forte, foi elaborado por meio de revisão sistemática da literatura (teoria) relacionada à atividade industrial (realidade) e *survey* com especialistas em Sustentabilidade Forte (modelo). O método adotado para aplicação do modelo foi o estudo de múltiplos casos em indústrias do setor automotivo, com operações no Brasil e na Itália.

### 3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão sistemática da literatura consistiu na análise de publicações científicas sobre avaliação de sustentabilidade em manufatura. A análise de conteúdo é documental e infere conhecimento pela codificação e categorização de dados para selecionar os artigos apropriados no desenvolvimento do modelo conceitual (BARDIN, 1986).

A delimitação da pesquisa foi realizada para orientar o pesquisador na seleção do conteúdo teórico relevante para o tema em questão. Além disso, a busca por publicações foi realizada no idioma inglês, em bases de dados com trabalhos científicos internacionais. Também, não foi restringido o período de publicação dos manuscritos, o que tornou possível acompanhar a evolução dos modelos de avaliação de sustentabilidade em manufatura e, conseqüentemente, identificar tendências e mudanças ao longo dos anos. Esse procedimento assegura a revelação do estado da arte no tema pesquisado.

A primeira etapa na revisão da literatura foi a seleção de artigos relacionados ao tema de pesquisa. Para essa atividade, a definição das palavras-chave e utilização nas bases de busca possibilitou o dimensionamento inicial da quantidade de documentos a serem analisados. Essa medida foi importante para evitar análise de inúmeros trabalhos com conteúdo fora do escopo dessa investigação. O uso de palavras-chave tem o intuito de buscar literatura relevante ao propósito do estudo (BELL, 2005).

A escolha de palavras-chave apropriadas ao escopo da pesquisa foi realizada em duas fases: (i) desdobramento do tema em componentes e; (ii) identificação de sinônimos. O detalhamento dessas fases está descrito na sequência.

- (i) Desdobramento do tema em componentes: para identificar as sub-áreas relevantes de investigação que estão relacionadas as questões de pesquisa. Conforme definido no objetivo de pesquisa, esse estudo aborda a aplicação de modelos de avaliação de sustentabilidade em manufatura. Com isso, os principais componentes que constituem o tópico de investigação foram definidos como: *sustainability*; *assessment*; *model*; *manufacturing*.
- (ii) Identificação de sinônimos: para assegurar a abrangência completa do tópico estudado. Com base nos componentes previamente identificados, sinônimos das palavras-chave foram utilizados para assegurar a adequação e completude da busca na literatura, como é mostrado na figura 12:

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
<i>Sustainability</i>	<i>Assessment</i>	<i>Model</i>	<i>Manufacturing</i>
<i>Sustainable development</i>	<i>Evaluation</i>	<i>Framework</i>	<i>Industry</i>

Figura 12 – Grupos com a seleção das palavras-chave para a busca de artigos.  
 Fonte: critério de seleção definido pelo autor.

A combinação das palavras-chave selecionadas tornou a busca na literatura mais eficiente e confiável. Esse procedimento está ilustrado na figura 13.

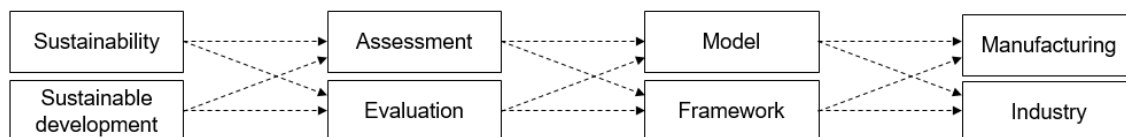


Figura 13 – Combinação das palavras-chave para a busca de artigos.  
Fonte: critério de seleção definido pelo autor.

A busca teve abrangência de artigos científicos disponíveis nas plataformas: ScienceDirect; Scielo; Scopus; Taylor & Francis e Willey. Uma planilha eletrônica foi utilizada para armazenar e gerenciar os dados consultados. As informações retidas dos artigos foram: título, nome dos autores, ano de publicação, nome do periódico, país onde foi realizada a pesquisa, objetivo geral e observações. A busca realizada nas bases de artigos científicos resultou em 251 estudos.

A análise e seleção de artigos relacionados ao escopo dessa pesquisa foi realizada em duas etapas. O primeiro filtro consistiu na leitura do título, palavras-chave e resumo. Nessa etapa, foram desconsiderados 179 artigos que estavam fora do propósito desse estudo. Então, pesquisas relacionadas à sustentabilidade em áreas como geração de energia, gestão da cadeia de suprimentos, mobilidade urbana e construções foram retidas na análise inicial. A distribuição por área de pesquisa dos artigos retidos no primeiro filtro foi mostrada na figura 5, localizada na seção 2.2.

Na segunda triagem, a leitura completa de 72 documentos foi realizada com análise profunda do conteúdo, para selecionar as referências a serem utilizadas nessa investigação e justificar a exclusão dos artigos retidos no segundo filtro. Os critérios utilizados nessa etapa foram artigos com modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura, com abrangência das dimensões econômica, ambiental e social e dos elementos de manufatura, produto, processo e sistema.

A análise de conteúdo na segunda triagem resultou em 65 artigos fora do escopo dessa pesquisa. A ausência de modelo de mensuração foi notada em 25 estudos. Também, a abordagem exclusiva de ecoeficiência foi evidenciada

em 23 pesquisas. Além disso, a utilização de métricas específicas para determinado tipo de processo produtivo foi constatada em 12 investigações como, por exemplo, parâmetros de usinagem. Ainda, o foco em questões sociais foi notado em 5 artigos, o denotou negligência das dimensões econômica e ambiental. A distribuição dos 65 artigos retidos no segundo filtro foi mostrada na figura 9, localizada na seção 2.2.

Dessa forma, a seleção de artigos científicos sobre avaliação de sustentabilidade em manufatura, com as três dimensões da sustentabilidade e os elementos de manufatura, resultou em sete estudos que foram referências para estruturar as etapas de construção do modelo de avaliação de sustentabilidade proposto nessa pesquisa.

### 3.2 SURVEY

A pesquisa *survey* foi realizada com especialistas em Sustentabilidade Forte, com o intuito de obter o julgamento sobre a relevância das métricas de sustentabilidade em manufatura identificados na literatura. Pesquisa *survey* consiste em coletar e analisar informações de indivíduos utilizando instrumentos de pesquisa (FORZA, 2002). O instrumento de pesquisa utilizado para obter as informações de campo foi um questionário estruturado, com perguntas individuais para cada indicador de sustentabilidade. O questionário estruturado é um meio adequado para a coleta de dados em pesquisa *survey* (BRYMAN, 1989).

O critério adotado para identificar os especialistas em Sustentabilidade Forte foi autores de artigos científicos publicados em periódicos internacionais, disponíveis nas principais bases de pesquisa. Mais especificamente, a busca foi por autores de artigos com o termo “*strong sustainability*” em título, palavras-chave ou resumo.

A determinação do tamanho mínimo da amostra foi realizada por meio do Software G\*Power 3.1.9.2, com o uso de parâmetros recomendado por Cohen (1988) para o teste F. A estatística F analisa a relação entre a variação das médias da amostra e a variação dentro das amostras. Para a determinação do tamanho do efeito ( $f^2$ ), Cohen (1988) considerou que os valores 0,02, 0,15 e 0,35

são, respectivamente, pequeno, médio e grande efeito na área de ciências sociais. Esse estudo adotou o tamanho do efeito médio  $f^2$  igual a 0,15.

Com relação ao poder do teste ( $1 - \beta$ ), as recomendações de Cohen (1988) são fundamentadas no fato de que em pesquisa científica é mais crítico cometer um erro tipo I do que o tipo II. O erro tipo I ocorre quando a hipótese nula verdadeira é rejeitada. O erro tipo II acontece com a aceitação de hipótese nula falsa (COHEN, 1988).

A probabilidade de cometer um erro do tipo I é  $\alpha$ , que é o nível de significância definido no teste de hipóteses. Devido à convenção implícita de  $\alpha$  igual a 0,05, o uso de poder do teste igual a 0,80 faz o erro tipo II quatro vezes mais provável que o erro tipo I, o que é um valor adequado (COHEN, 1988). Com isso, o poder de teste 0,80 foi utilizado nesse estudo para o cálculo do tamanho amostral. Com a entrada desses dados no software G\*Power, a amostra mínima sugerida foi de 55 respostas, conforme é apresentada na figura 14.

O questionário foi enviado a especialistas autores de artigos sobre Sustentabilidade Forte, com o retorno de 58 questionários respondidos. A lista dos especialistas que participaram dessa pesquisa está mostrada na figura 15, com informações do título do artigo sobre Sustentabilidade Forte, o nome do periódico e o ano de publicação.

Os especialistas responderam ao questionário por meio da plataforma eletrônica 'Formulário Google'. Para cada pergunta havia cinco possibilidades de resposta, levando em consideração a relevância do indicador para a Sustentabilidade Forte: (1) baixa relevância; (2) média-baixa relevância; (3) média relevância; (4) média-alta relevância e; (5) alta relevância.

A escala com cinco níveis de relevância para os indicadores de sustentabilidade teve como referência o método adotado no *survey* realizado por Beekaroo *et al.* (2019), que teve participação de 30 especialistas em gestão de operações.

O questionário foi constituído por quatro seções. Na primeira parte, as perguntas abordaram informações pessoais do respondente como: (i) nome completo; (ii) afiliação institucional; (iii) função exercida; (iv) especialização. Na segunda seção, foi solicitado que o respondente atribuísse o grau de relevância das métricas ambientais sob a ótica de Sustentabilidade Forte. Na terceira seção



foi questionado o grau de relevância das métricas sociais e, na quarta seção, os indicadores econômicos.

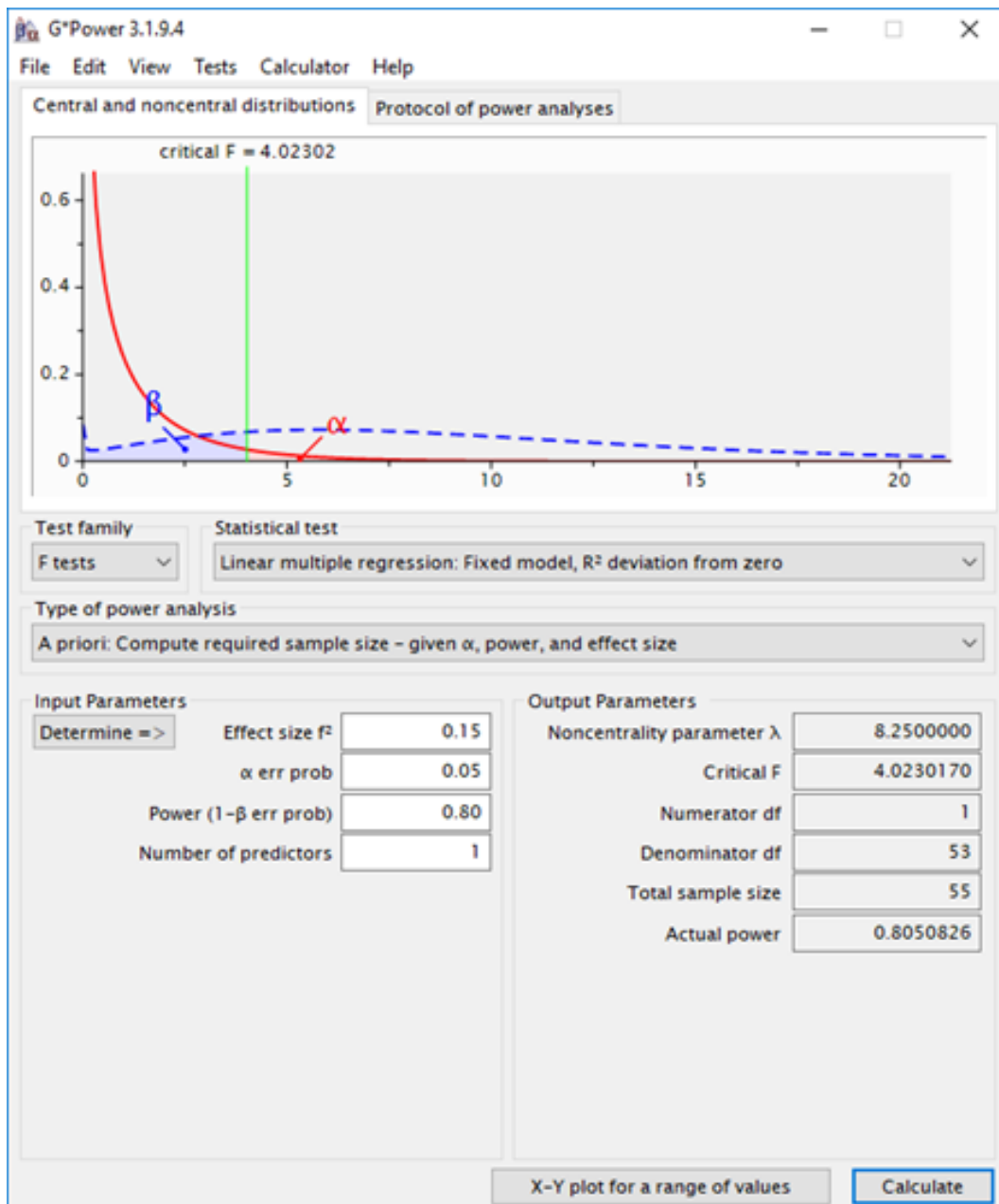


Figura 14 – Teste do tamanho mínimo da amostra no software G\*Power.

Então, as seções dois, três e quatro foram constituídas por quatorze, onze e sete perguntas, respectivamente, e trataram individualmente o grau de relevância de cada indicador para a Sustentabilidade Forte. O formulário completo enviado aos especialistas está disponível no apêndice 1. A lista de especialistas que responderam o *survey* está mostrada na figura 15.

<b>Autor (especialista)</b>	<b>Ano</b>	<b>Periódico</b>	<b>Título do artigo</b>
Bartkowski, B.	2017	Ecological Economics	Sustainability as a Fair Bequest: An Evaluation Challenge
Bentes, I.	2017	Waste Management	Assessment strategies for municipal selective waste collection schemes
Bishop, J.D.K.	2010	Electric Power Systems Research	Linking energy policy, electricity generation and transmission using strong sustainability and co-optimization
Bjørn, A.	2018	Journal of Cleaner Production	What does it really mean to be a strongly sustainable company? – A response to Nikolaou and Tsalis
Block, T.	2017	International Journal of Project Management	Governing public–private partnerships for sustainability: An analysis of procurement and governance practices of PPP infrastructure projects
Bordt, M.	2016	Ecological Economics	Building the consensus: The moral space of earth measurement
Brogaard, S.	2017	Journal of Cleaner Production	Regulating a global value chain with the European Union's sustainability criteria – experiences from the Swedish liquid transport biofuel sector
Chandurkar, V.	2018	Journal of Cleaner Production	The state of environmental sustainability considerations in mining
Cinelli, M.	2014	Ecological Indicators	Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment
Colombo, L.A.	2019	Journal of Cleaner Production	The discourse of eco-innovation in the European Union: An analysis of the Eco-Innovation Action Plan and Horizon 2020
Dale, V.H.	2015	Ecological Economics	Applications of aggregation theory to sustainability assessment
Escapa, M.	2010	Ecological Economics	Weak and strong sustainability assessment in fisheries
Fang, K.	2018	Science of The Total Environment	Sustainability of the use of natural capital in a city: Measuring the size and depth of urban ecological and water footprints
Geronimi, V.	2015	Journal of Cultural Heritage	Economic evaluation of urban heritage: An inclusive approach under a sustainability perspective
Giannetti, B.F.	2018	Journal of Cleaner Production	A framework of actions for strong sustainability
He, B.	2017	Journal of Cleaner Production	Measuring incoordination-adjusted sustainability performance during the urbanization process: Spatial-dimensional perspectives
Heijungs, R.	2018	Environmental Modelling & Software	Implementation of stochastic multi attribute analysis (SMAA) in comparative environmental assessments
Kissinger, M.	2017	Ecological Economics	Modeling the Contribution of Existing and Potential Measures to Urban Sustainability Using the Urban Biophysical Sustainability Index (UBSI)
Klauer, B.	2017	Ecological Economics	Sustainability as a Fair Bequest: An Evaluation Challenge
Lorek, S.	2013	Journal of Cleaner Production	Strong sustainable consumption governance – precondition for a degrowth path?
Lucas, P.L.	2016	Global Environmental Change	From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space — How can the scales be bridged?
Manstetten, R.	2017	Ecological Economics	Sustainability as a Fair Bequest: An Evaluation Challenge
Matos, C.	2017	Waste Management	Assessment strategies for municipal selective waste collection schemes
Meir, A.	2017	Ecological Economics	Modeling the Contribution of Existing and Potential Measures to Urban Sustainability Using the Urban Biophysical Sustainability Index (UBSI)
Mineo, K.	2017	Ecological Indicators	Regional sustainability assessment framework for integrated coastal zone management: Satoumi, ecosystem services approach, and inclusive wealth
Moser, P.	2018	Journal of Cleaner Production	The state of environmental sustainability considerations in mining
Mourad, M.	2016	Journal of Cleaner Production	Recycling, recovering and preventing "food waste": competing solutions for food systems sustainability in the United States and France
Narodoslawsky, M.	2017	Journal of Cleaner Production	Current potential of more sustainable biomass production using eco-efficient farming practices in Austria
Nikolaou, I.E.	2018	Journal of Cleaner Production	A framework to evaluate eco- and social-labels for designing a sustainability consumption label to measure strong sustainability impact of firms/products
Nilsen, H.R.	2010	Ecological Economics	The joint discourse 'reflexive sustainable development' — From weak towards strong sustainable development
Noël, J.F.	2015	Journal of Cultural Heritage	Economic evaluation of urban heritage: An inclusive approach under a sustainability perspective
Pansera, M.	2019	Journal of Cleaner Production	The discourse of eco-innovation in the European Union: An analysis of the Eco-Innovation Action Plan and Horizon 2020
Patel, M.K.	2015	Journal of Cleaner Production	Choosing sustainable technologies. Implications of the underlying sustainability paradigm in the decision-making process
Peck, P.	2017	Journal of Cleaner Production	Regulating a global value chain with the European Union's sustainability criteria – experiences from the Swedish liquid transport biofuel sector
Petersen, T.	2017	Ecological Economics	Sustainability as a Fair Bequest: An Evaluation Challenge
Prellezo, R.	2010	Ecological Economics	Weak and strong sustainability assessment in fisheries

Figura 15 – Lista de especialistas em Sustentabilidade Forte que responderam o questionário.  
Fonte: planilha de respostas do survey.

<b>Autor (especialista)</b>	<b>Ano</b>	<b>Periódico</b>	<b>Título do artigo</b>
Quaas, M.F.	2009	Ecological Economics	Ecological-economic viability as a criterion of strong sustainability under uncertainty
Romero, J.C.	2014	Renewable and Sustainable Energy	Exergy as a global energy sustainability indicator. A review of the state of the art
Ruiz, F.	2014	Ecological Indicators	Multicriteria development of synthetic indicators of the environmental profile of the Spanish regions
Sang, J.T.K.	2015	Journal of Cultural Heritage	Economic evaluation of urban heritage: An inclusive approach under a sustainability perspective
Scemama, P.	2017	Biological Conservation	Biodiversity offsetting: Clearing up misunderstandings between conservation and economics to take further action
Shen, L.	2017	Journal of Cleaner Production	Measuring incoordination-adjusted sustainability performance during the urbanization process: Spatial-dimensional perspectives
Shi, L.	2018	Science of The Total Environment	Sustainability of the use of natural capital in a city: Measuring the size and depth of urban ecological and water footprints
Spangenberg, J.H.	2014	Journal of Cleaner Production	Sustainable consumption within a sustainable economy – beyond green growth and green economies
Stål, H.I.	2015	Journal of Cleaner Production	Inertia and change related to sustainability – An institutional approach
Stossel, Z.	2017	Ecological Economics	Modeling the Contribution of Existing and Potential Measures to Urban Sustainability Using the Urban Biophysical Sustainability Index (UBSI)
Tost, M.	2018	Journal of Cleaner Production	The state of environmental sustainability considerations in mining
Tsalis, T.A.	2018	Journal of Cleaner Production	A framework to evaluate eco- and social-labels for designing a sustainability consumption label to measure strong sustainability impact of firms/products
Vaissière, A.C.	2017	Biological Conservation	Biodiversity offsetting: Clearing up misunderstandings between conservation and economics to take further action
Van Vuuren, D.P.	2016	Global Environmental Change	From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space — How can the scales be bridged?
Victor, P.A.	2005	Ecological Economics	Weak Versus Strong Sustainability
Wang, Y.	2018	Science of The Total Environment	Sustainability of the use of natural capital in a city: Measuring the size and depth of urban ecological and water footprints
Winckler, C.	2017	Livestock Science	Mapping sustainability in pig farming research using keyword network analysis
Yan, H.	2017	Journal of Cleaner Production	Measuring incoordination-adjusted sustainability performance during the urbanization process: Spatial-dimensional perspectives
Yu, H.	2018	Science of The Total Environment	Sustainability of the use of natural capital in a city: Measuring the size and depth of urban ecological and water footprints
Zang, Q.	2018	Science of The Total Environment	Sustainability of the use of natural capital in a city: Measuring the size and depth of urban ecological and water footprints
Zhang, X.	2017	Journal of Cleaner Production	Measuring incoordination-adjusted sustainability performance during the urbanization process: Spatial-dimensional perspectives
Zhang, Z.	2017	Journal of Cleaner Production	Measuring incoordination-adjusted sustainability performance during the urbanization process: Spatial-dimensional perspectives

Continuação da figura 15 – Lista de especialistas em Sustentabilidade Forte que responderam o questionário.

Fonte: planilha de respostas do survey.

### 3.3 ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS

A aplicação do modelo matemático desenvolvido para avaliar o desempenho de sustentabilidade em manufatura foi realizada em quatro empresas dos setores automotivos brasileiro e italiano. Essa etapa foi importante para demonstrar a aplicabilidade do modelo e avaliar o desempenho de empresas com operações em países na Europa e na América do Sul. O método de estudo de caso tem sido consistentemente utilizado em pesquisas de gestão de operações (VOSS *et al.*, 2002). Estudo de caso possibilitou a visão holística

da rotina, o que enfatiza seu caráter empírico na investigação do fenômeno contemporâneo (YIN, 2009).

A aplicação do modelo de avaliação de sustentabilidade foi realizada em quatro empresas do setor automotivo, duas no Brasil e duas na Itália, com o intuito de analisar o desempenho de cada empresa ao longo de cinco anos e comparar suas tendências. A coleta de dados foi realizada por meio de entrevista com gestores e técnicos, análise de relatórios e observações de processos. De acordo com Voss *et al.* (2002), a combinação de diferentes métodos de coleta de dados é um aspecto positivo do estudo de caso, o que possibilita ao investigador a análise profunda do fenômeno estudado.

A coleta de dados de empresas italianas foi realizada entre janeiro e março de 2019, enquanto que as brasileiras entre março e maio de 2019, com abordagens quantitativa e qualitativa. Em termos quantitativos, foram coletados os resultados dos indicadores econômicos, ambientais e sociais, realizados no período de 2014 a 2018. Uma planilha MS Excel foi utilizada para armazenar os dados coletados e auxiliar nos cálculos e análise de desempenho de sustentabilidade das empresas.

Na abordagem qualitativa, foram realizadas entrevistas face a face com gerentes dos departamentos de Meio Ambiente e de Saúde e Segurança Ocupacional das empresas. A duração média das entrevistas foi de uma hora, com abordagem dos seguintes aspectos: (i) a importância da ISO14001 para a sustentabilidade; (ii) as barreiras que restringem a adoção de iniciativas de sustentabilidade pela empresa; (iii) os incentivos oferecidos práticas sustentáveis em manufatura e; (iv) as perspectivas de disseminação das melhores práticas de sustentabilidade em manufatura, em escala local e global.

## CAPÍTULO 4 – MODELO DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE

A informação integrada do desempenho sustentável de empresas pode auxiliar a priorização de ações a serem tomadas pelos gestores. Entretanto, é notado na prática empresarial o monitoramento de diversos indicadores de sustentabilidade de forma isolada, o que dificulta a compreensão do progresso sustentável do negócio. O modelo proposto consolidou os dados de diversas métricas de desempenhos econômico, ambiental e social em um indicador de sustentabilidade, o que tornou a informação de desempenho sustentável mais clara e precisa para a tomada de decisão.

A construção do modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura consistiu em quatro etapas. Inicialmente, foram definidos os indicadores de desempenho de sustentabilidade. Na sequência, especialistas em Sustentabilidade Forte foram consultados para apontar a relevância dos indicadores para a Sustentabilidade Forte. Na terceira etapa, as notas atribuídas pelos especialistas foram tratadas por meio de comparação em pares para calcular os pesos das métricas, sob a perspectiva de Sustentabilidade Forte. Então, os indicadores e seus respectivos pesos foram consolidados na equação que calcula o índice de sustentabilidade em manufatura.

As etapas de construção do modelo desse estudo foram referenciadas em passos utilizados no desenvolvimento de sete modelos de avaliação de sustentabilidade em manufatura, que foram identificados na revisão sistemática da literatura. Os modelos avaliaram a sustentabilidade de empresas têxtil e de alimentos em Ilhas Maurício (BEEKAROO *et al.*, 2019) e indústria química na Eslovênia (KRAJNC; GLAVIC, 2005). Em Taiwan, foi avaliada sustentabilidade de vinte pequenas e médias empresas de diversos segmentos (CHANG; CHENG, 2019) e fábrica de produtos médicos (TSENG *et al.*, 2009). Além disso, o setor automotivo foi foco nos estudos de caso na China (JIANG *et al.*, 2018), no Canadá (SABAGHI *et al.*, 2016) e no Irã (GHADIMI *et al.*, 2012). As etapas de construção do modelo estão ilustradas na figura 16.

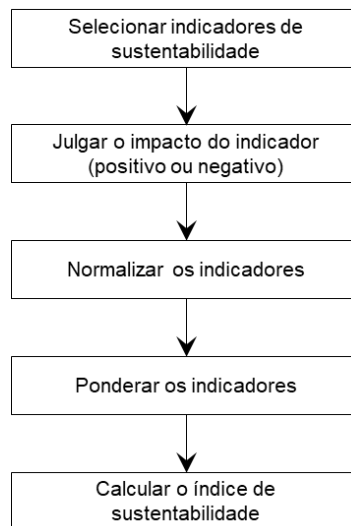


Figura 16 – Etapas de construção do modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura. Fonte: adaptado de Krajnc e Glavic (2005).

O desdobramento das etapas citadas e detalhes dos procedimentos utilizados estão apresentados na sequência desse capítulo.

#### 4.1 SELEÇÃO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

O modelo desenvolvido nesse estudo calcula a sustentabilidade em empresas de manufatura. Os dados de entrada requeridos pelo modelo são provenientes do monitoramento de desempenho, que é obtido por meio de indicadores econômicos, ambientais e sociais. A primeira etapa para construção do modelo matemático foi a definição dos indicadores de sustentabilidade em manufatura.

As informações monitoradas pelos indicadores econômicos, ambientais e sociais são dados de entrada para avaliar sustentabilidade em manufatura. Indicadores são medidas que possibilitam inferência de conclusões sobre um fenômeno de interesse (JOUNG *et al.*, 2013). Usualmente, indicadores de sustentabilidade são critérios quantificáveis que abrangem todas as dimensões de sustentabilidade e podem ser aplicados no monitoramento de desempenho de diferentes processos de fabricação (SINGH *et al.*, 2012).

Entretanto, indicadores de sustentabilidade também podem ser qualitativos, como satisfação de produto e risco à saúde, o que requer mecanismos como *survey* ou experiência de gerentes para quantificá-los (SAAD

*et al.*, 2019). Nesse contexto, os indicadores de desempenho precisam atender aos seguintes critérios (TAN *et al.*, 2015):

**Relevância:** abranger aspectos significativos de sustentabilidade para o processo de manufatura em questão;

**Compreensibilidade:** os indicadores devem ser de fácil entendimento, inclusive para pessoas que não são especialistas no processo;

**Mensurabilidade:** os indicadores devem ser facilmente medidos por meio de técnicas quantitativas ou qualitativas;

**Confiabilidade/aplicabilidade:** os dados de indicadores devem ser precisos e verdadeiros;

**Acessibilidade de dados:** as informações devem estar prontamente disponíveis;

**Orientação a longo prazo:** indicadores devem ser úteis para análises e planejamento avançado;

**Tempo hábil:** coleta e avaliação de dados deve ser conduzida em tempo hábil para a tomada de decisão.

Os indicadores de sustentabilidade utilizados nessa pesquisa foram obtidos por meio de revisão da literatura. O conjunto de indicadores aborda métricas que são influenciadas por fatores internos e externos à empresa, compostas por sete parâmetros econômicos, quatorze ambientais e onze sociais, conforme apresentado na figura 17.

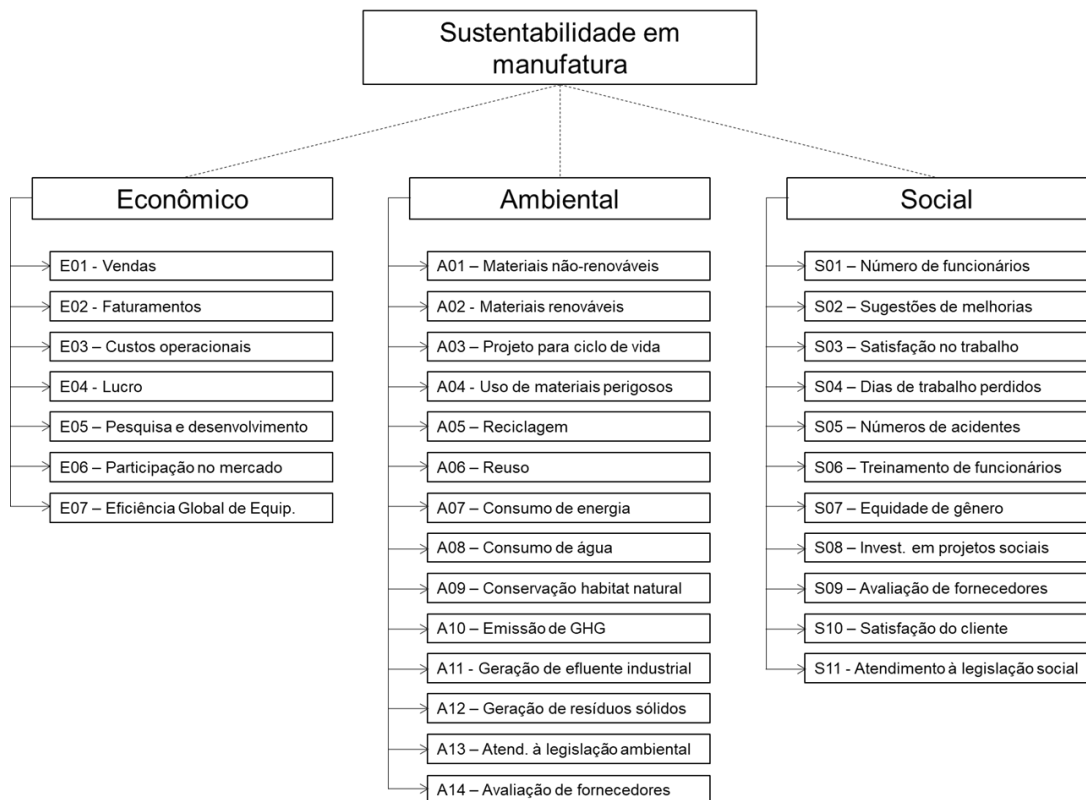


Figura 17 – Indicadores econômicos, ambientais e sociais selecionados para o modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura.

Fonte: conteúdo extraído da revisão sistemática de artigos, fig.10.

As métricas econômicas são monitoradas por sete indicadores identificados na literatura. Vendas (E01) foi utilizado nos estudos de Jiang *et al.* (2018) e Krajnc e Glavic (2005). Faturamento (E02) foi considerado na avaliação conduzida por Jiang *et al.* (2018). Custo operacional (E03) foi medido nos estudos de Chang e Cheng (2019), Jiang *et al.* (2018), Sabaghi *et al.* (2016), Ghadimi *et al.* (2012) e Tseng *et al.* (2009). O lucro (E04) de empresas foi contado por Chang e Cheng (2019), Jiang *et al.* (2018) e Krajnc e Glavic (2005). Desembolso com pesquisa e desenvolvimento (E05) foi levantado nos estudos de Beekaroo *et al.* (2019), Chang e Cheng (2019) e Jiang *et al.* (2018). A participação no mercado (E06) foi utilizada por Jiang *et al.* (2018). A eficiência global de equipamento (E07) foi informação de entrada na avaliação de Chang e Cheng (2019) e Jiang *et al.* (2018).

No aspecto ambiental, a avaliação consiste no consumo de materiais de fontes não-renováveis (A01) (SABAGHI *et al.*, 2016; GHADIMI *et al.*, 2012; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC; GLAVIC, 2005) e renováveis (A02) (CHANG; CHENG, 2019; SABAGHI *et al.*, 2016; GHADIMI *et al.*, 2012; TSENG *et al.*, 2009;



KRAJNC; GLAVIC, 2005). Também, o projeto para ciclo de vida (A03) (CHANG; CHENG, 2019; SABAGHI *et al.*, 2016; TSENG *et al.*, 2009) e o uso de materiais perigosos (A04) (BEEKAROO *et al.*, 2019; CHANG; CHENG, 2019; SABAGHI *et al.*, 2016; GHADIMI *et al.*, 2012; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC; GLAVIC, 2005).

Além disso, foi considerado na avaliação ambiental o volume de reciclagem (A05) (BEEKAROO *et al.*, 2019; CHANG; CHENG, 2019; SABAGHI *et al.*, 2016; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC; GLAVIC, 2005) e reuso (A06) (BEEKAROO *et al.*, 2019; CHANG; CHENG, 2019; SABAGHI *et al.*, 2016; TSENG *et al.*, 2009). Ainda, os consumos de energia (A07) (BEEKAROO *et al.*, 2019; CHANG; CHENG, 2019; JIANG *et al.*, 2018; SABAGHI *et al.*, 2016; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC; GLAVIC, 2005) e água (A08) (BEEKAROO *et al.*, 2019; Jiang *et al.*, 2018; SABAGHI *et al.*, 2016; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC; GLAVIC, 2005).

Ainda na avaliação ambiental, a conservação do habitat natural (A09) (BEEKAROO *et al.*, 2019; JIANG *et al.*, 2018), emissão de gases de efeito estufa (A10) (BEEKAROO *et al.*, 2019; CHANG; CHENG, 2019; JIANG *et al.*, 2018; SABAGHI *et al.*, 2016; GHADIMI *et al.*, 2012; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC; GLAVIC, 2005). Além disso, a geração de efluente industrial (A11) e resíduos sólidos (A12) (BEEKAROO *et al.*, 2019; JIANG *et al.*, 2018; SABAGHI *et al.*, 2016; GHADIMI *et al.*, 2012; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC; GLAVIC, 2005). Completaram as métricas ambientais os indicadores de atendimento à legislação ambiental (A13) e avaliação de fornecedores (A14) (CHANG; CHENG, 2019).

A dimensão social foi medida pela quantidade de funcionários (S01) (BEEKAROO *et al.*, 2019; CHANG; CHENG, 2019; KRAJNC; GLAVIC, 2005), sugestões de melhoria (S02) (CHANG; CHENG, 2019; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC e GLAVIC, 2005) e satisfação no trabalho (S03) (CHANG; CHENG, 2019; JIANG *et al.*, 2018; TSENG *et al.*, 2009). Além disso, dias de trabalho perdidos (S04) (BEEKAROO *et al.*, 2019; CHANG; CHENG, 2019; TSENG *et al.*, 2009), quantidade de acidentes (S05) (BEEKAROO *et al.*, 2019; CHANG; CHENG, 2019; JIANG *et al.*, 2018; SABAGHI *et al.*, 2016; GHADIMI *et al.*, 2012; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC; GLAVIC, 2005) e treinamento de funcionários (S06) (BEEKAROO *et al.*, 2019; CHANG; CHENG, 2019; JIANG *et al.*, 2018; TSENG *et al.*, 2009). Ainda, equidade de gênero (S07) (CHANG; CHENG, 2019; JIANG *et al.*, 2018), investimentos em projetos sociais (S08) (CHANG; CHENG,

2019; JIANG *et al.*, 2018; KRAJNC; GLAVIC, 2005). Completam a lista de indicadores sociais, a avaliação de fornecedores (S09) (CHANG; CHENG, 2019), satisfação de cliente (S10) (CHANG e CHENG, 2019; JIANG *et al.*, 2018; TSENG *et al.*, 2009) e atendimento a legislação social (S11) (CHANG; CHENG, 2019).

#### 4.2 IMPACTO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

O desempenho de sustentabilidade é influenciado positivo e negativamente pelo resultado dos indicadores selecionados. Por este motivo, foi apontado o impacto de cada indicador sobre o desempenho global. O procedimento de análise do impacto de indicadores foi constatado no estudo de Jiang *et al.* (2018).

O resultado econômico melhora com o aumento de vendas, faturamento, lucro, pesquisa e desenvolvimento, participação no mercado e OEE. No entanto, a elevação dos custos operacionais reduz o ganho econômico, o que denota o impacto negativo dessa métrica.

Com relação aos indicadores ambientais, o resultado global melhora quanto maior for o valor de sete indicadores. Nesse grupo estão as métricas de consumo de materiais renováveis, projeto para ciclo de vida, reciclagem, reuso, conservação de habitat natural e atendimento a legislação ambiental. Por outro lado, existem sete indicadores que impactam positivamente o resultado global quando seus valores são reduzidos. Nesse caso estão as métricas de consumo de materiais não-renováveis, materiais perigosos, energia, água, emissão de GHG, efluente industrial e resíduos sólidos.

No aspecto social, os indicadores melhoram o resultado global quanto maior os seus valores, exceto as métricas relacionadas à segurança ocupacional. Neste sentido, dias de trabalho perdidos e quantidade de acidentes devem ser reduzidos para elevar o desempenho social.

O julgamento de impacto dos indicadores foi realizado por meio de consulta a três especialistas na área de gestão de operações. O resultado está apresentado na figura 18. O impacto positivo é simbolizado por uma seta indicada para cima, enquanto que os indicadores de impacto negativo estão com seta para baixo.

Dim.	Cod.	Indicadores	↑ maior é melhor ↓ menor é melhor
Econômica	E01	Vendas	↑
	E02	Faturamento	↑
	E03	Custos operacionais	↓
	E04	Lucro	↑
	E05	Pesquisa e desenvolvimento	↑
	E06	Participação no mercado	↑
	E07	Eficiência Global de Equipamento (OEE)	↑
Ambiental	A01	Consumo de materiais não-renováveis	↓
	A02	Consumo de materiais renováveis	↑
	A03	Projeto para ciclo de vida	↑
	A04	Uso de materiais perigosos	↓
	A05	Reciclagem	↑
	A06	Reuso	↑
	A07	Consumo de energia	↓
	A08	Consumo de água	↓
	A09	Conservação do habitat natural	↑
	A10	Emissão de gases de efeito estufa	↓
	A11	Geração de efluente industrial	↓
	A12	Geração de resíduos sólidos	↓
	A13	Atendimento à legislação ambiental	↑
	A14	Avaliação de fornecedores	↑
Social	S01	Número de funcionários	↑
	S02	Quantidade de sugestões de melhorias	↑
	S03	Satisfação no trabalho	↑
	S04	Dias de trabalho perdidos	↓
	S05	Números de acidentes	↓
	S06	Horas de treinamento de funcionários	↑
	S07	Equidade de gênero (homens x mulheres)	↑
	S08	Investimentos em projetos sociais	↑
	S09	Avaliação de fornecedores	↑
	S10	Satisfação do cliente	↑
	S11	Atendimento à legislação social	↑

Figura 18 – Apresentação do impacto dos indicadores de sustentabilidade em manufatura  
Fonte: conteúdo extraído da revisão sistemática de artigos.

### 4.3 NORMALIZAÇÃO

Os dados dos indicadores de sustentabilidade são mensurados em diversas unidades de medidas, o que torna difícil a análise e comparação de resultados (POLLESCH; DALE, 2016). Neste sentido, a normalização das informações coletadas foi o meio utilizado neste estudo para consolidar os resultados econômico, ambiental e social em um indicador global de

desempenho de sustentabilidade. A normalização é um método utilizado para converter dados de diferentes unidades de medidas em valores adimensionais (SAAD *et al.*, 2019).

A normalização de dados requer considerar duas condições possíveis de resultados de indicadores (CHANG; CHENG, 2019; JIANG *et al.*, 2018; GHADIMI *et al.*, 2012; TSENG *et al.*, 2009; KRAJNC; GLAVIC, 2005). A primeira condição ocorre quando o desempenho é diretamente proporcional ao valor medido, por exemplo, o aumento do lucro melhora o desempenho econômico, o aumento da quantidade de material reutilizado melhora o desempenho ambiental e o aumento da satisfação no emprego melhora o desempenho social. Assim, a normalização de valores de métricas diretamente proporcional ao desempenho foi realizada utilizando a equação 1.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad \text{Eq.(1)}$$

Fonte: Chang e Cheng (2019)

Na qual:

$x_{ij}^*$  é o valor normalizado

$x_{ij}$  é o valor absoluto medido

$\min(x_i)$  é o menor valor do indicador  $x_i$

$\max(x_i)$  é o maior valor do indicador  $x_i$

Por outro lado, alguns indicadores revelam resultados inversamente proporcional ao desempenho, por exemplo: a elevação dos custos operacionais diminui o desempenho econômico; o aumento do consumo de energia reduz o desempenho ambiental e; o aumento de acidentes diminui o desempenho social. Então, para normalizar dados em situações em que o menor valor resulta em melhor desempenho foi utilizada a equação 2.

$$x_{ij}^* = 1 - \left( \frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \right) \quad \text{Eq.(2)}$$

Fonte: Chang e Cheng (2019)

Na qual:

$x_{ij}^*$  é o valor normalizado

$x_{ij}$  é o valor absoluto medido

$\min(x_i)$  é o menor valor do indicador  $x_i$

$\max(x_i)$  é o maior valor do indicador  $x_i$

#### 4.4 PONDERAÇÃO DE INDICADORES

O modelo desenvolvido nesse estudo teve a premissa de incorporar o conceito de Sustentabilidade Forte na avaliação de sustentabilidade em manufatura. Neste sentido, a ponderação dos indicadores teve o importante papel de valorizar os indicadores com maior relevância para a Sustentabilidade Forte. A atribuição de pesos a indicadores é um processo qualitativo por natureza (ZHAO *et al.*, 2016). Usualmente, a ponderação de indicadores é realizada com base em experiência de especialistas na área, *survey* ou métodos de decisão de multicritérios (SAAD *et al.*, 2019).

Nessa etapa, especialistas foram consultados para indicar a relevância das métricas econômicas, ambientais e sociais para a Sustentabilidade Forte. A escala utilizada considerou o valor 1 para baixa relevância, 2 para média-baixa relevância, 3 para média relevância, 4 para média-alta relevância e 5 para alta relevância. As informações de 58 especialistas foram obtidas por meio de questionário respondido em pesquisa *survey*. As respostas dos especialistas convertidas na escala de 1 a 5, descrita anteriormente, estão apresentadas na tabela 1.



Com as informações de relevância atribuídas pelos especialistas, o passo seguinte foi a comparação em pares de indicadores. A análise de comparação em pares de informações de especialistas foi notada nos estudos de Beekaroo *et al.*(2019), Sabaghi *et al.*(2016), Ghadimi *et al.*(2012), Tseng *et al.*(2009) e Krajnc e Glavic (2005). Esse procedimento foi necessário para obter a intensidade de importância entre indicadores. O método utilizou um conjunto de matrizes de comparação em pares com uma escala de números que podem ser utilizados para indicar quantas vezes um elemento é mais dominante ou importante sobre outro elemento. A escala de comparação em pares está mostrada na figura 19.

Intensidade de importância	Definição	Interpretação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	O julgamento favorece levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	O julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.

Figura 19 – Escala de comparações em pares dos indicadores.  
Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012).

Dessa forma, foram construídas 58 matrizes quadráticas, equivalente à quantidade de formulários respondidos por especialistas, com 32 linhas e colunas referentes aos indicadores de sustentabilidade. Para ilustrar esse procedimento, a matriz de comparação realizada com os julgamentos do especialista ‘Bartkowski’ está apresentada na figura 20. O mesmo procedimento foi realizado na análise das informações dos 58 questionários. A apresentação das outras 57 matrizes está ausente desse relatório por ser informação redundante.

INDICADOR	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	A13	A14	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	SOMA	
NOTA	3	3	3	3	4	3	3	5	5	4	5	4	4	5	5	3	5	5	5	4	5	1	3	4	3	5	4	5	3	5	2	5		
E01	3	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9	
E02	3	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9	
E03	3	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9	
E04	3	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9	
E05	4	3	3	3	3	1	3	3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	7	3	1	3	1/3	1	1/3	3	1/3	5	1/3	52,3
E06	3	1	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9
E07	3	1	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9
A01	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
A02	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
A03	4	3	3	3	1	3	3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	7	3	1	3	1/3	1	1/3	3	1/3	5	1/3	52,3	
A04	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
A05	4	3	3	3	3	1	3	3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	7	3	1	3	1/3	1	1/3	3	1/3	5	1/3	52,3
A06	4	3	3	3	3	1	3	3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	7	3	1	3	1/3	1	1/3	3	1/3	5	1/3	52,3
A07	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
A08	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
A09	3	1	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9
A10	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
A11	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
A12	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
A13	4	3	3	3	3	1	3	3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	7	3	1	3	1/3	1	1/3	3	1/3	5	1/3	52,3
A14	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
S01	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/9	1/9	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/5	1/9	1/9	1/9	1/7	1/9	1	1/5	1/7	1/5	1/9	1/7	1/9	1/5	1/9	1/3	1/9	4,8
S02	3	1	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9
S03	4	3	3	3	3	1	3	3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	7	3	1	3	1/3	1	1/3	3	1/3	5	1/3	52,3
S04	3	1	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9
S05	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
S06	4	3	3	3	3	1	3	3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	7	3	1	3	1/3	1	1/3	3	1/3	5	1/3	52,3
S07	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
S08	3	1	1	1	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	5	1	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1	1/5	3	1/5	21,9
S09	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0
S10	2	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3	1/3	1/7	1/7	1/5	1/7	1/5	1/5	1/7	1/7	1/3	1/7	1/7	1/7	1/5	1/7	3	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1/7	1/3	1/7	1	1/7	9,6
S11	5	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3	1	3	3	1	1	5	1	1	1	3	1	9	5	3	5	1	3	1	5	1	7	1	99,0

Figura 20 – Exemplo de matriz de comparação em pares com notas de especialista em Sustentabilidade Forte.

Fonte: dados obtidos do questionário respondido no survey.

A matriz quadrática contém na primeira linha e coluna os códigos dos 32 indicadores de sustentabilidade (E01 a S11). Na segunda linha e coluna, destacado em cor cinza, estão as notas de 1 a 5 que foram atribuídas na avaliação individual de cada métrica pelos especialistas. As células contidas entre as linhas e colunas 3 a 34, são os resultados das comparações em pares.

Para obter os resultados de intensidade de importância entre indicadores, foram consideradas três condições: (i) o valor do indicador localizado na célula  $a_{ij}$  é igual ao valor do indicador da célula  $a_{ji}$ ; (ii) o valor de  $a_{ij}$  é maior que  $a_{ji}$ ; (iii) o valor de  $a_{ij}$  é menor que  $a_{ji}$ . As condições observadas na comparação em pares e os valores alocados como resultado da comparação estão descritos na figura 21.



Condição	Resultado da comparação
$a_{ij} = a_{ji}$	$x_{ij} = 1$
$a_{ij} > a_{ji}$	$a_{ij} - a_{ji} = 1$ $x_{ij} = 3$
	$a_{ij} - a_{ji} = 2$ $x_{ij} = 5$
	$a_{ij} - a_{ji} = 3$ $x_{ij} = 7$
	$a_{ij} - a_{ji} = 4$ $x_{ij} = 9$
$a_{ij} < a_{ji}$	$x_{ij} = \frac{1}{a_{ji} - a_{ij}}$

Figura 21 - Regras de comparação em pares dos indicadores e os valores alocados como resultado da comparação.

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012).

Os resultados das 58 matrizes de comparações de indicadores foram consolidados em planilha MS Excel, com 58 linhas referente à quantidade de especialistas e 32 colunas relacionadas aos indicadores econômicos, ambientais e sociais. Os resultados foram convertidos em valores percentuais, sendo que o somatório dos valores dos 32 indicadores para cada especialista totaliza cem por cento.

Na sequência, foi realizada a soma dos 58 valores de cada indicador, o que indicou a relevância de cada indicador para a Sustentabilidade Forte. Os resultados da comparação em pares dos indicadores estão apresentados na tabela 2.



O próximo passo foi estabelecer o peso de cada dimensão, que foi obtido por meio da média aritmética dos valores de seus indicadores. Essa ação teve o intuito de eliminar o impacto causado no cálculo devido a diferença da quantidade de indicadores em cada dimensão, sete econômicas, quatorze ambientais e onze sociais. O procedimento de agregação de indicadores em cada dimensão foi constatado no estudo de Jiang *et al.* (2018), que mediram o desempenho individual das dimensões de sustentabilidade na análise de componente principal.

Dessa forma, foram calculados os valores médios das dimensões econômica, ambiental e social na Sustentabilidade Forte, conforme indicado nas equações 3, 4 e 5.

$$\bar{w}_E = \left( \frac{\sum_{i=1}^7 X_{E_i}}{7} \right) \quad \text{Eq.(3)}$$

Fonte: adaptado de Jiang *et al.* (2018)

$$\bar{w}_A = \left( \frac{\sum_{i=1}^{14} X_{A_i}}{14} \right) \quad \text{Eq.(4)}$$

Fonte: adaptado de Jiang *et al.* (2018)

$$\bar{w}_S = \left( \frac{\sum_{i=1}^{11} X_{S_i}}{11} \right) \quad \text{Eq.(5)}$$

Fonte: adaptado de Jiang *et al.* (2018)

Na qual:

$X_{E_i}$  é o resultado da soma das 58 comparações do indicador econômico  $E_i$

$X_{A_i}$  é o resultado da soma das 58 comparações do indicador ambiental  $A_i$

$X_{S_i}$  é o resultado da soma das 58 comparações do indicador social  $S_i$

$\bar{w}_E$  é o peso da dimensão econômica

$\bar{w}_A$  é o peso da dimensão ambiental

$\bar{w}_S$  é o peso da dimensão social

A análise *Boxplot* foi realizada com o intuito de verificar a dispersão dos valores dos indicadores econômicos ( $X_{E_i}$ ), ambientais ( $X_{A_i}$ ) e sociais ( $X_{S_i}$ ) e os valores das médias calculadas dos indicadores econômicos ( $\bar{w}_E$ ), ambientais ( $\bar{w}_A$ ) e sociais ( $\bar{w}_S$ ). O gráfico mostrado na figura 22 indicou que as médias dos

indicadores estão posicionadas próximas aos centros das distribuições. Outra característica observada foi a simetria das três distribuições.

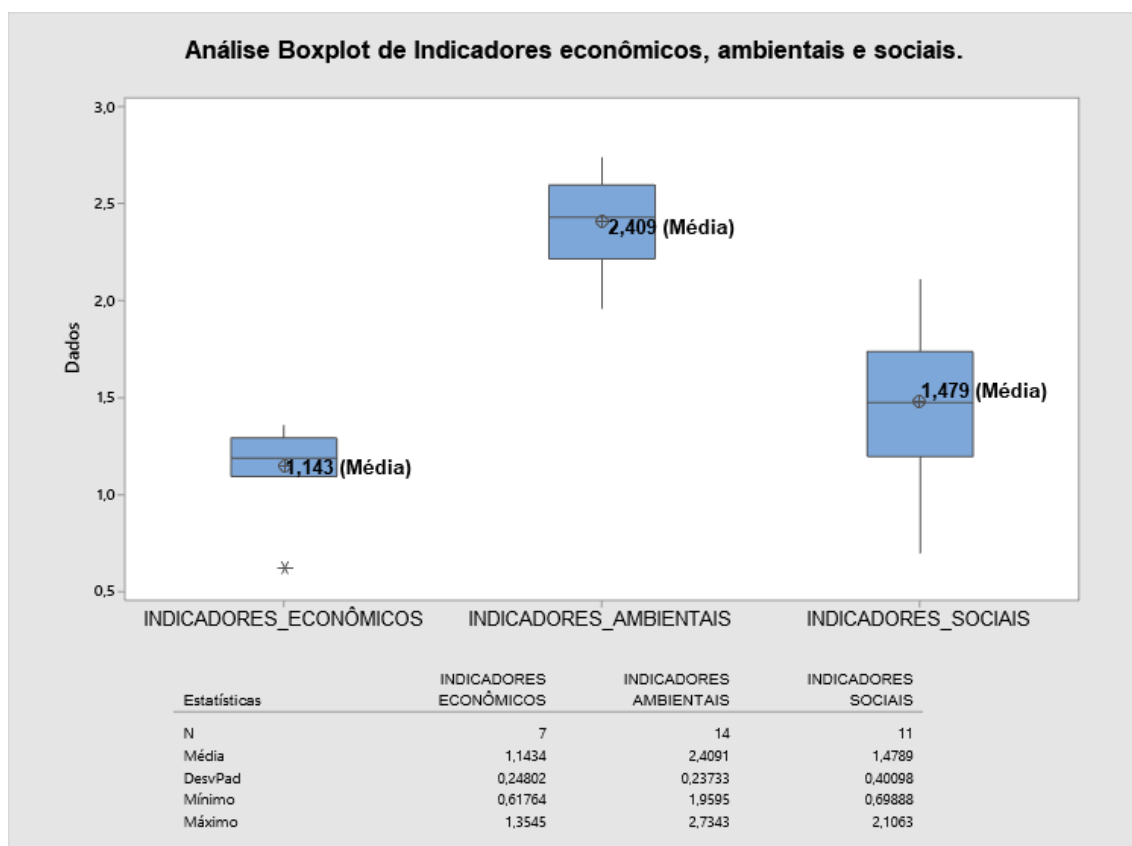


Figura 22 – Análise *Boxplot* de distribuição dos valores dos indicadores econômicos, ambientais e sociais.

Os resultados obtidos foram convertidos em valores percentuais, para revelar a participação de cada dimensão em Sustentabilidade Forte. Os modelos de avaliação de sustentabilidade em manufatura referenciados nessa pesquisa consideraram pesos equivalentes às dimensões de sustentabilidade. Devido à ausência de modelos de avaliação de Sustentabilidade Forte, o cálculo de participação das dimensões foi sugerido por essa pesquisa. Assim, foi possível verificar se as dimensões são equivalentes ou diferentes em termos de relevância para a Sustentabilidade Forte.

A participação percentual da dimensão econômica foi calculada por meio da divisão do seu peso médio pela soma dos pesos médios das três dimensões, conforme mostrado na equação 6. Os cálculos das dimensões ambiental e social seguiram o mesmo método.

$$\%ECO = \frac{\bar{w}_E}{\bar{w}_E + \bar{w}_A + \bar{w}_S} \times 100 \quad \text{Eq.(6)}$$

O somatório da participação percentual das três dimensões resulta em cem por cento, o que significa o total de Sustentabilidade Forte. O método utilizado por Krajnc e Glavic (2005) considerou que o índice de sustentabilidade é obtido pela média aritmética das três dimensões, em escala percentual. O procedimento apresentado nessa pesquisa foi adaptado devido aos valores das dimensões já estarem definidos em percentuais. Então, o somatório das três dimensões resulta em cem por cento, conforme é mostrado na equação 7.

$$\textit{Sustentabilidade Forte} = \%ECO + \%AMB + \%SOC \quad \text{Eq.(7)}$$

Fonte: adaptado de Krajnc e Glavic (2005)

Os modelos de avaliação de sustentabilidade analisados consideraram pesos equivalentes às dimensões. Por este motivo, a participação da dimensão foi negligenciada nos cálculos de pesos dos indicadores dos modelos analisados. Então, foi evidenciada a ausência de método para calcular pesos de indicadores considerando que as dimensões têm relevâncias distintas em sustentabilidade. Nesse sentido, essa pesquisa sugeriu o método para preencher a lacuna identificada na literatura.

Assim, o peso dos indicadores foi obtido por meio da divisão do valor do indicador pelo somatório dos valores de indicadores da mesma dimensão, multiplicado pelo peso da dimensão. O cálculo de peso do indicador econômico  $E_1$  foi realizado conforme a equação 8. Os pesos dos outros 31 indicadores foram obtidos seguindo o mesmo procedimento.

$$w_{E_1} = \frac{X_{E_1}}{\sum_i X_{E_i}} \times \%ECO \quad \text{Eq.(8)}$$

Na qual:

$w_{E_1}$  é o peso do indicador  $E_1$

$X_{E_i}$  é o resultado da soma das 58 comparações do indicador econômico  $E_i$   
%ECO é a participação da dimensão econômica em Sustentabilidade Forte

Dessa forma, o resultado da comparação em pares das notas atribuídas pelos especialistas indicou que a dimensão ambiental é a mais importante para a Sustentabilidade Forte, com 48% de participação, seguida pela dimensão social (29%) e a econômica (23%). Os pesos dos indicadores foram obtidos por meio do cálculo da equação 08. Os resultados estão mostrados na tabela 3.

Na dimensão econômica, o lucro (E05) foi o indicador com maior peso (0,038). Esse resultado da análise de especialistas refletiu o motivo da existência do negócio. A lucratividade da empresa é o que assegura a prosperidade financeira para manutenção da operação. Ainda nessa dimensão, a participação no mercado (E06) foi o indicador de menor relevância (0,018). Essa constatação sinalizou que o nível de competição no segmento exerce pouca influência no desempenho de sustentabilidade em manufatura.

Na dimensão ambiental, o consumo de materiais não-renováveis (A01) foi o indicador com maior peso (0,039). Esse resultado destacou a principal preocupação de Sustentabilidade Forte que é a substituição de fontes de recursos não-renováveis por renováveis. Em contraponto, a avaliação de fornecedores (A14) foi o indicador com menor relevância (0,028) na dimensão ambiental. Esse resultado sugeriu que o desempenho de sustentabilidade reside prioritariamente nos resultados internos da operação.

Saúde e segurança ocupacional foi destaque na dimensão social. O indicador de número de acidentes (S05) recebeu o maior peso (0,038). Essa constatação evidenciou a preocupação com a integridade dos funcionários. Assim, ações voltadas à prevenção de acidentes são as que causam maior impacto positivo no melhor resultado social da empresa. No outro extremo está o indicador de número de funcionários (S01), que foi o menos relevante (0,013) na avaliação dos especialistas. Esse resultado evidenciou que o tamanho da empresa pouco influencia na sustentabilidade do negócio.



Os pesos dos indicadores foram plotados em um gráfico radar, com o intuito de analisar a dispersão de seus valores. Notadamente, a dimensão social apresentou a maior dispersão de dados. Esse resultado é explicado pela dinâmica de mudanças em questões sociais. As demandas sociais são diferentes a cada geração, o que torna difícil a priorização das métricas monitoradas. No entanto, a manutenção da integridade física das pessoas é assunto tratado há décadas por empresas, o que justifica o destaque dado ao indicador de número de acidentes (S05). A dispersão dos pesos de indicadores está mostrada na figura 23.

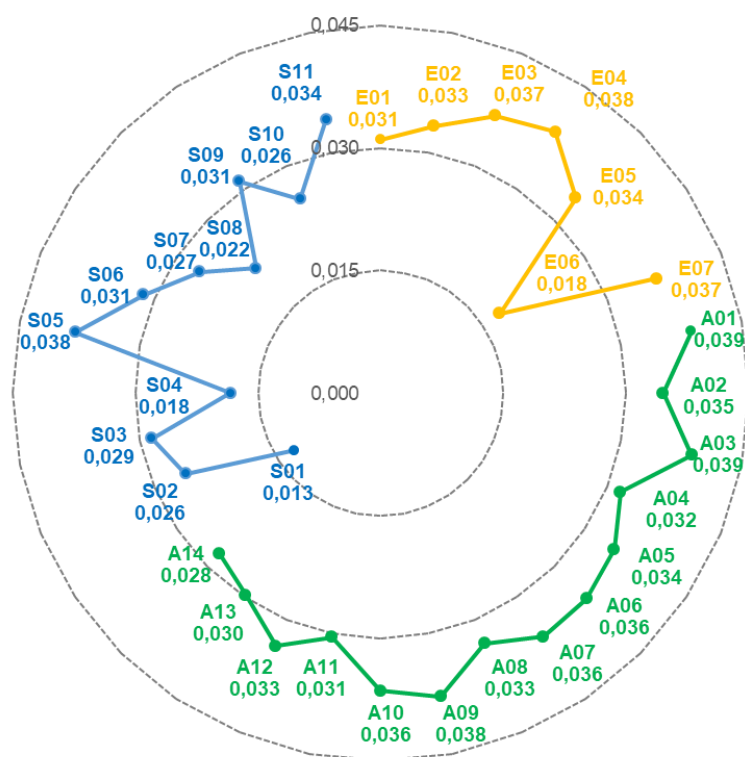


Figura 23 – Resultado dos pesos calculados dos indicadores econômicos, ambientais e sociais. Fonte: resultados da tabela 3.

A mensuração das dimensões de Sustentabilidade Forte possibilitou a comparação quantitativa com a Sustentabilidade Fraca. Por definição, a Sustentabilidade Fraca implica a equivalência das três dimensões e a substituibilidade ou compensação entre as dimensões (DALY, 2007). Com isso, em uma escala percentual, cada dimensão da Sustentabilidade Fraca



corresponde a 33% do total. A participação das dimensões em Sustentabilidade Fraca e Forte está apresentado na figura 24.

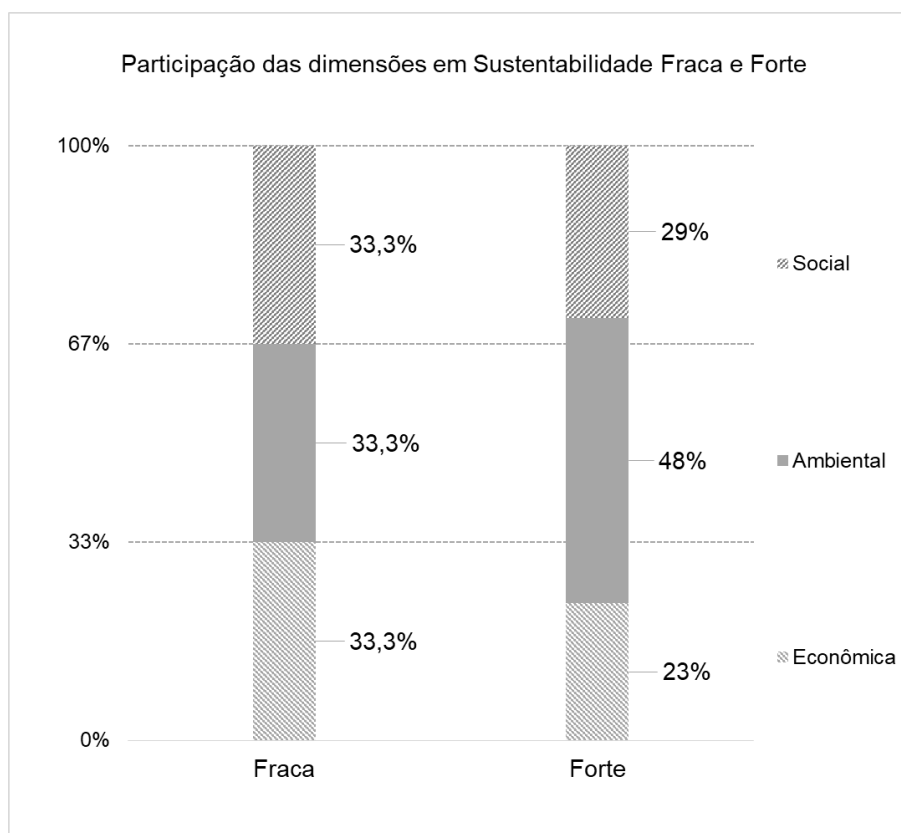


Figura 24 – Participação das dimensões econômica, ambiental e social em Sustentabilidade Fraca e Forte.

Fonte: resultados da tabela 3.

Apesar do conceito de Sustentabilidade Forte definir a dimensão ambiental como fator crítico para o desenvolvimento social e o crescimento econômico, foi notado ausência de estudo quantitativo que revelasse a predominância dessa dimensão em relação às outras. Assim, esse estudo levou em consideração a análise de especialistas em Sustentabilidade Forte para revelar de forma quantitativa a participação das dimensões em Sustentabilidade Forte. A partir dessa constatação, as questões ambientais se tornarão ainda mais prioritárias para as corporações melhorarem o desempenho sustentável.

#### 4.5 CONSOLIDAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE

A quinta etapa para construção do modelo de avaliação foi a consolidação de indicadores e pesos em uma equação que calcula o índice de sustentabilidade (SI). O valor do índice de sustentabilidade foi obtido por meio do somatório de cada indicador multiplicado pelo seu peso, conforme é mostrado na equação 9. Esse cálculo foi referenciado no método utilizado por Beekaroo *et al.* (2019), que obtiveram o índice de sustentabilidade por meio da soma ponderada dos indicadores econômicos, ambientais e sociais.

$$SI = \sum_{i=1}^7 w_{E_i} \times E_i + \sum_{i=1}^{14} w_{N_i} \times N_i + \sum_{i=1}^{11} w_{S_i} \times S_i$$

Onde:  $\begin{cases} w = \text{peso do indicador} \\ E = \text{indicador econômico} \\ N = \text{indicador natural} \\ S = \text{indicador social} \\ i = \text{índice do indicador} \end{cases}$

Eq.(9)

Fonte: Beekaroo *et al.* (2019).

O modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura considerou o peso de indicadores para Sustentabilidade Forte. A equação que calcula o índice de sustentabilidade (SI) limita a influência do fator econômico a 23%, ambiental a 48% e social a 29% no resultado total de sustentabilidade. Com isso, a diferença da quantidade de indicadores utilizados para medir o desempenho das dimensões econômica, ambiental e social não exerce influência no resultado de sustentabilidade.

O índice de sustentabilidade foi calculado em termos percentuais. O total de sustentabilidade é obtido quando os 32 indicadores são monitorados e registram o melhor resultado comparado ao histórico registrado. Com isso, o modelo de avaliação de sustentabilidade estimula as empresas a adotar o monitoramento das métricas de sustentabilidade utilizadas no modelo e estabelecer ações que promovam a melhoria contínua do desempenho sustentável do negócio.

Assim, a avaliação de sustentabilidade em manufatura realizada por meio da análise do SI contemplou os resultados econômicos, ambientais e sociais, com abrangência de produto, processo e sistema e a priorização dos indicadores de acordo com a perspectiva de Sustentabilidade Forte.

## CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS

Os dados coletados das empresas com operações no Brasil estão em fase de consolidação e análise. Por este motivo, o conteúdo desse capítulo apresentado no relatório de Qualificação da Tese limita-se aos resultados das duas empresas Italianas. No entanto, os resultados obtidos na avaliação de desempenho de sustentabilidade das quatro empresas estarão no trabalho de Defesa da Tese.

### 5.1 APRESENTAÇÃO DAS EMPRESAS

As empresas brasileiras foco desse estudo foram denominadas “BR1” e “BR2”, as italianas como “IT1” e “IT2”. As quatro empresas são multinacionais do setor automotivo com presença nos cinco continentes. Seus produtos equipam veículos leves, pesados e fora de estrada. Além disso, as quatro empresas possuem certificação ISO14001 e emitem relatório de sustentabilidade. Maiores detalhes estão descritos na sequência:

Fábrica BR1: a planta faz parte da corporação que tem sede na Alemanha. A operação brasileira começou em 1978. A certificação ISO14001 foi obtida em 2004. A empresa empregou mais de 2.300 pessoas em 2018.

Fábrica BR2: a indústria multinacional japonesa, foi instalada no Brasil em 1939. A certificação ISO14001 foi obtida em 1999. Em 2018, a empresa empregou mais de 3.000 pessoas.

Fábrica IT1: a unidade fabril pertence a uma empresa multinacional com sede na Alemanha. A operação na fábrica italiana começou em 1997. A primeira certificação ISO14001 foi obtida em 1999. Em 2018, contou com mais de 1.800 pessoas contratadas.

Fábrica IT2: a empresa com matriz no Canadá, está instalada na Itália desde 1997. Em termos de certificações, a ISO14001 foi obtida em 2000, EMAS (*Eco-Management and Audit Scheme*) em 2004 e IQNet SR10 (responsabilidade social) em 2015. A quantidade de funcionários superou 800 pessoas em 2018.

## 5.2 SUSTENTABILIDADE DE FÁBRICAS NO BRASIL

Nessa seção serão apresentados os resultados econômico, ambiental e social das fábricas BR1 e BR2 no período de 2014 a 2018.

### 5.2.1 Resultados econômicos de BR1 e BR2

Os dados econômicos de BR1 apontaram quedas de vendas (E01) em 2015 e 2016, quando foi revertido o cenário com o crescimento do volume de vendas nos anos consecutivos. O faturamento (E02) refletiu a tendência apresentada no indicador de vendas. Os custos operacionais (E03) apresentou oscilação, com o pior resultado do período em 2016, que influenciado pelo menor volume de produção nesse ano.

Ainda sobre as informações de BR1, os dados de lucro (E04) também apresentaram oscilação no período, com melhor resultado obtido em 2018. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento (E05) acompanharam a tendência observada no indicador de lucro. Ainda, a eficiência global de equipamento (E07) começou a ser monitorada em 2016 e apresentou melhoria nos anos consecutivos. A participação no mercado (E06) não é monitorado pela empresa, devido à ampla variedade de produtos, o que torna complexo a identificação dos competidores.

Os dados de BR2 estavam disponíveis em seis indicadores econômicos. O monitoramento de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (E05) não era realizado pela fábrica BR2, devido ao fato das atividades de desenvolvimento de produto estarem concentradas na matriz da corporação japonesa. O desempenho de vendas (E01), faturamento (E02) e custos (E03) indicaram o mesmo comportamento, com o pior resultado realizado em 2015, seguido de elevações contínuas nos três anos seguintes.

Os dados de lucro (E04) de BR2 apontaram crescimento até 2016, quando atingiu o melhor resultado, e queda drástica em 2017 e 2018. Os números de participação de mercado (E06) indicaram relativa estabilidade nos cinco anos analisados. A eficiência global de equipamento (E07) foi constante no período. Os dados econômicos de BR1 e BR2 estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados econômicos de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	Unid.	BR1					BR2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Vendas ↑	E01	[pc]	12.411.150	11.948.297	9.453.600	10.781.447	12.578.223	6.089.741	5.037.840	5.545.880	6.039.824	6.769.422
Faturamento ↑	E02	[x10 <sup>6</sup> €]	243,47	240,19	213,58	238,20	279,45	434,56	373,88	428,04	484,81	565,11
Custos operacionais ↓	E03	[€/pc]	15,65	16,02	18,91	15,94	15,71	11,64	13,16	12,49	11,78	10,53
Lucro ↑	E04	[x10 <sup>6</sup> €]	14,38	26,52	15,06	25,01	30,75	7,31	9,73	19,73	11,51	6,27
Pesquisa e desenvolvimento ↑	E05	[x10 <sup>6</sup> €]	8,27	8,45	8,63	8,83	11,02	-	-	-	-	-
Participação no mercado ↑	E06	[%]	-	-	-	-	-	15,3%	15,6%	15,5%	15,5%	15,4%
Eficiência Global de Equipamento ↑	E07	[%]	-	-	89%	91%	92%	87%	87%	87%	87%	87%

Os dados econômicos foram normalizados para converter os valores de diferentes grandezas em valor adimensional. Esse procedimento foi realizado conforme as equações 1 e 2. A normalização dos dados facilitou a análise de desempenho individual dos indicadores, sendo '0' o pior resultado e '1' o melhor no período de cinco anos que foi analisado. Os dados normalizados de BR1 e BR2 estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Normalização dos dados econômicos de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	BR1					BR2				
		2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Vendas ↑	E01	0,95	0,84	0,00	0,42	1,00	0,61	0,00	0,48	0,58	1,00
Faturamento ↑	E02	0,45	0,40	0,00	0,37	1,00	0,32	0,00	0,28	0,58	1,00
Custos operacionais ↓	E03	1,00	0,88	0,00	0,91	0,98	0,58	0,00	0,25	0,52	1,00
Lucro ↑	E04	0,00	0,74	0,04	0,65	1,00	0,08	0,26	1,00	0,39	0,00
Pesquisa e desenvolvimento ↑	E05	0,00	0,06	0,13	0,20	1,00	-	-	-	-	-
Participação no mercado ↑	E06	-	-	-	-	-	0,00	1,00	0,67	0,67	0,33
Eficiência Global de Equipamento ↑	E07	-	-	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Na etapa seguinte, os valores ponderados dos resultados de BR1 e BR2 foram calculados utilizando as equações 5, 6 e 7. O índice econômico global (ECO\_global) foi obtido por meio da soma dos valores ponderados dos sete indicadores econômicos. Os dados de BR1 indicaram expressivo crescimento econômico a partir de 2017, após o pior resultado do período que foi registrado em 2016. O desempenho de BR2 também foi positivo, com aumento dos resultados de forma gradual e contínua. Os dados ponderados de BR1 e BR2 são mostrados na tabela 6.

Tabela 6 – Ponderação dos dados econômicos de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	Peso	BR1					BR2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Vendas ↑	E01	0,031	0,03	0,03	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03
Faturamento ↑	E02	0,033	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03
Custos operacionais ↓	E03	0,037	0,04	0,03	0,00	0,03	0,04	0,02	0,00	0,01	0,02	0,04
Lucro ↑	E04	0,038	0,00	0,03	0,00	0,02	0,04	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00
Pesquisa e desenvolvimento ↑	E05	0,034	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	-	-	-	-	-
Participação no mercado ↑	E06	0,018	-	-	-	-	-	0,00	0,04	0,03	0,03	0,01
Eficiência Global de Equipamento ↑	E07	0,037	-	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
ECO_global			0,08	0,10	0,04	0,13	0,21	0,09	0,09	0,14	0,14	0,15

### 5.2.2 Resultados ambientais de BR1 e BR2

A análise da dimensão ambiental em BR1 evidenciou ausência do monitoramento de sete indicadores. O controle do uso de materiais não-renováveis (A01), renováveis (A02) e perigosos (A04) não era realizado por BR1. Além disso, estudos relacionados a projeto para ciclo de vida (A03) eram realizados, mas sem registros de monitoramento. Também, BR1 tinha iniciativas para conservação do habitat natural (A09), mas eram pontuais e sem controle. O controle do efluente industrial (A11) consistiu nas especificações do líquido que era descartado, sem controle do volume. A avaliação de fornecedores (A14) era realizado pela matriz, os dados não eram compartilhados com BR1.

A coleta de dados em BR2 apresentou falta do monitoramento de quatro indicadores. Estudos relacionados a projeto para ciclo de vida (A03) e avaliação de fornecedores (A14) são realizados pela matriz, sem a divulgação de informações para as fábricas. O reuso (A06) de material não é praticado por BR2. Outro indicador não mensurado foi o de conservação do habitat natural (A09), devido às ações serem pontuais e sem controle. Os dados ambientais absolutos de BR1 e BR2 estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Resultados ambientais absolutos de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	Unid.	BR1					BR2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Consumo de materiais não-renováveis	↓ A01	[ton]	-	-	-	-	-	103.188,36	85.835,00	90.876,08	107.323,65	129.122,01
Consumo de materiais renováveis	↑ A02	[ton]	-	-	-	-	-	49.055,16	40.111,00	47.770,92	43.671,94	40.113,53
Projeto para ciclo de vida	↑ A03	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uso de materiais perigosos	↓ A04	[ton]	-	-	-	-	-	2.441,23	2.499,84	2.920,77	3.271,84	3.041,79
Reciclagem	↑ A05	[ton]	1.170,80	1.331,40	2.408,80	2.659,27	2.748,00	10.408,90	8.169,48	7.664,40	8.909,58	9.461,90
Reuso	↑ A06	[ton]	12.993,00	16.609,00	49.675,00	56.260,00	52.972,00	-	-	-	-	-
Consumo de energia	↓ A07	[MWh]	80.161,15	79.994,00	75.595,80	80.689,00	84.365,78	189.594,86	169.684,04	187.123,56	190.979,30	191.074,30
Consumo de água	↓ A08	[m <sup>3</sup> ]	155.293,00	114.150,00	97.590,00	112.810,00	113.727,00	1.423.707,00	1.316.431,00	1.358.040,00	1.348.041,00	1.323.525,00
Conservação do habitat natural	↑ A09	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão de gases de efeito estufa	↓ A10	[tonCO <sub>2</sub> ]	7.594,90	7.432,10	6.930,10	7.351,80	7.625,70	91.900,38	82.642,56	81.988,19	85.552,03	85.445,38
Geração de efluente industrial	↓ A11	[m <sup>3</sup> ]	-	-	-	-	-	597.956,94	605.558,26	692.600,40	714.461,73	688.233,00
Geração de resíduos sólidos	↓ A12	[ton]	3.324,27	3.685,18	3.757,15	3.573,74	4.191,92	11.937,90	9.292,40	8.193,76	9.022,76	9.493,19
Atendimento à legislação ambiental	↑ A13	[%]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Avaliação de fornecedores	↑ A14	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

As informações ambientais requerem tratamento especial para interpretação dos resultados, devido ao consumo de recursos estar diretamente relacionado ao volume de produção. Dessa forma, os dados absolutos foram convertidos em valores relativos ao volume de produção.

Os dados relativos de BR1 indicaram que os volumes de reciclagem (A05) e reuso (A06) foram aumentados de 2014 a 2017, com pequena queda em 2018. Os indicadores de consumo de energia (A07), emissão de gases poluentes (A10) e geração de resíduos sólidos (A12) indicaram que os melhores resultados ocorreram em anos com os maiores volumes de produção, 2014 e 2018, e os piores resultados no ano de menor produção, 2016. Os registros de uso de água (A08) apresentaram oscilações no período, com o melhor resultado em 2018 e o pior em 2014.

As informações de BR2 revelaram que o consumo de materiais não-renováveis (A01) aumentou em 2017 e 2018, o que refletiu em redução do uso de materiais renováveis (A02) no mesmo biênio. O melhor resultado em termos de substituição de materiais não-renováveis por renováveis foi em 2016. O consumo de materiais perigosos (A04) aumentou de 2014 a 2017, com redução desses insumos em 2018. Os volumes relativos de reciclagem (A05) e efluente industrial (A11) apresentaram oscilações, com os melhores resultados em 2014 e o piores em 2016.

Ainda sobre os dados ambientais relativos de BR2, os consumos de energia (A07) e água (A08), emissão de gases poluentes (A10) e resíduos sólidos (A12) apresentaram os melhores resultados em 2018. O atendimento à

legislação ambiental (A14) ocorreu de forma plena no período, sem registros de multas de agências reguladoras. Os dados ambientais relativos de BR1 e BR2 estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Resultados ambientais relativos de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	Unid.	BR1					BR2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Consumo de materiais não-renováveis ↓	A01	[kg/pp]	-	-	-	-	-	16,94	17,04	16,39	17,77	19,07
Consumo de materiais renováveis ↑	A02	[kg/pp]	-	-	-	-	-	8,06	7,96	8,61	7,23	5,93
Projeto para ciclo de vida ↑	A03	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uso de materiais perigosos ↓	A04	[kg/pp]	-	-	-	-	-	0,40	0,50	0,53	0,54	0,45
Reciclagem ↑	A05	[kg/pp]	0,09	0,11	0,25	0,25	0,22	1,71	1,62	1,38	1,48	1,40
Reuso ↑	A06	[kg/pp]	1,05	1,39	5,25	5,22	4,21	-	-	-	-	-
Consumo de energia ↓	A07	[kWh/pp]	6,46	6,70	8,00	7,48	6,71	31,13	33,68	33,74	31,62	28,23
Consumo de água ↓	A08	[l/pp]	12,51	9,55	10,32	10,46	9,04	233,79	261,31	244,87	223,19	195,52
Conservação do habitat natural ↑	A09	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão de gases de efeito estufa ↓	A10	g CO <sub>2</sub> /p	0,61	0,62	0,73	0,68	0,61	15,09	16,40	14,78	14,16	12,62
Geração de efluente industrial ↓	A11	[l/pp]	-	-	-	-	-	98,19	120,20	124,89	118,29	101,67
Geração de resíduos sólidos ↓	A12	[kg/pp]	0,27	0,31	0,40	0,33	0,33	1,96	1,84	1,48	1,49	1,40
Atendimento à legislação ambiental ↑	A13	[%]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Avaliação de fornecedores ↑	A14	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A etapa seguinte foi a normalização dos dados ambientais. Os valores normalizados dos indicadores ambientais de BR1 e BR2 estão mostrados na tabela 9.

Tabela 9 – Normalização dos dados ambientais de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	BR1					BR2				
		2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Consumo de materiais não-renováveis ↓	A01	-	-	-	-	-	0,79	0,76	1,00	0,49	0,00
Consumo de materiais renováveis ↑	A02	-	-	-	-	-	0,79	0,76	1,00	0,49	0,00
Projeto para ciclo de vida ↑	A03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uso de materiais perigosos ↓	A04	-	-	-	-	-	1,00	0,32	0,11	0,00	0,66
Reciclagem ↑	A05	0,00	0,11	1,00	0,95	0,77	1,00	0,73	0,00	0,28	0,05
Reuso ↑	A06	0,00	0,08	1,00	0,99	0,75	-	-	-	-	-
Consumo de energia ↓	A07	1,00	0,85	0,00	0,33	0,84	0,47	0,01	0,00	0,38	1,00
Consumo de água ↓	A08	0,00	0,85	0,63	0,59	1,00	0,42	0,00	0,25	0,58	1,00
Conservação do habitat natural ↑	A09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão de gases de efeito estufa ↓	A10	0,96	0,88	0,00	0,40	1,00	0,35	0,00	0,43	0,59	1,00
Geração de efluente industrial ↓	A11	-	-	-	-	-	1,00	0,18	0,00	0,25	0,87
Geração de resíduos sólidos ↓	A12	1,00	0,69	0,00	0,51	0,50	0,00	0,21	0,87	0,84	1,00
Atendimento à legislação ambiental ↑	A13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Avaliação de fornecedores ↑	A14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A etapa seguinte foi a ponderação dos dados ambientais de BR1 e BR2, que possibilitou o cálculo do índice ambiental global (AMB\_global). Apesar do melhor resultado do índice ambiental de BR1 ter acontecido no ano de maior produção, 2018, a flutuação notada nos valores de AMB\_global de BR1 revelou



períodos em que a eficiência do uso de recursos e emissão de poluentes não foi proporcional à quantidade de peças produzida.

Essa constatação foi evidenciada ao comparar os resultados de 2014 e 2017. A produção de 2017 foi 13% inferior ao volume produzido em 2014, enquanto que o resultado do índice ambiental em 2017 foi 20% superior ao realizado em 2014. Esse fenômeno também foi notado no desempenho ambiental de BR2. A quantidade de peças produzidas em 2014 e 2017 foi aproximadamente a mesma. Entretanto, o índice ambiental apontou que o resultado de BR2 em 2014 foi 35% superior ao realizado em 2017. Os resultados do índice ambiental global de BR1 e BR2 estão mostrados na tabela 10.

Tabela 10 – Ponderação dos dados ambientais de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	Peso	BR1					BR2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Consumo de materiais não-renováveis ↓	A01	0,039	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,04	0,02	0,00
Consumo de materiais renováveis ↑	A02	0,035	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00
Projeto para ciclo de vida ↑	A03	0,039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uso de materiais perigosos ↓	A04	0,032	-	-	-	-	-	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02
Reciclagem ↑	A05	0,034	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,01	0,00
Reuso ↑	A06	0,036	0,00	0,00	0,04	0,04	0,03	-	-	-	-	-
Consumo de energia ↓	A07	0,036	0,04	0,03	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,04
Consumo de água ↓	A08	0,033	0,00	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03
Conservação do habitat natural ↑	A09	0,038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão de gases de efeito estufa ↓	A10	0,036	0,03	0,03	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,02	0,02	0,04
Geração de efluente industrial ↑	A11	0,031	-	-	-	-	-	0,03	0,01	0,00	0,01	0,03
Geração de resíduos sólidos ↓	A12	0,033	0,03	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03
Atendimento à legislação ambiental ↑	A13	0,030	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Avaliação de fornecedores ↑	A14	0,028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMB_global			0,13	0,15	0,12	0,16	0,20	0,23	0,13	0,16	0,17	0,22

### 5.2.3 Resultados sociais de BR1 e BR2

As informações sociais de BR1 foram coletadas, com exceção a três métricas. Treinamento de funcionários (S06) era realizado sem contagem de horas dedicadas à atividade. Além disso, investimentos em projetos sociais (S08) aconteciam de forma pontual, sem monitoramento. Ainda, a avaliação de fornecedores (S09) não contemplava requisitos sociais. Em BR2, também foi notada a falta de monitoramento de três indicadores. A equidade de gênero (S07) não é controlada pela fábrica. Além disso, não existe orçamento planejado para investimentos em projetos sociais (S08) e a avaliação de fornecedores (S09) não

contém requisitos sociais. Os resultados sociais de BR1 e BR2 estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Resultados sociais de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	Unid.	BR1					BR2					
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	
Número de funcionários	↑	S01	2.621	2.494	2.215	2.232	2.327	3.611	3.466	3.395	3.548	3.115	
Quantidade de sugestões de melhorias	↑	S02	1.692	1.479	1.114	1.562	1.500	23	29	34	39	40	
Satisfação no trabalho	↑	S03	[%]	75%	75%	75%	83%	83%	71%	73%	74%	74%	76%
Dias de trabalho perdidos	↓	S04		411	21	130	0	0	10	9	11	21	17
Número de acidentes	↓	S05		13	12	10	14	11	4	6	6	8	8
Treinamento de funcionários	↑	S06	[h]	-	-	-	-	-	15.995	16.837	17.632	24.329	24.585
Equidade de gênero	↑	S07	[%]	14,00%	14,00%	15,00%	16,00%	17,00%	-	-	-	-	-
Investimentos em projetos sociais	↑	S08		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avaliação de fornecedores	↑	S09		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reclamação de cliente	↓	S10		279	349	130	99	81	0	0	1	3	0
Atendimento à legislação social	↑	S11	[%]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Os indicadores sociais monitorados de BR1 revelaram uma redução de 11% do número de funcionários (S01) de 2014 a 2018. A menor quantidade de sugestões de melhorias (S02) foi registrada em 2016, ano em que ocorreu a maior redução de funcionários. O aumento da satisfação no trabalho (S03) foi medida pela pesquisa de clima organizacional, que é realizada a cada dois anos.

Ainda em métricas sociais de BR1, a quantidade de dias de trabalho perdidos (S04) foi reduzida a zero nos últimos dois anos, o que denotou que os acidentes (05) registrados não foram graves. O indicador de equidade de gênero (S07) apontou aumento da proporção de mulheres empregadas pela empresa. Além disso, a quantidade de reclamação de cliente (S10) caiu 70% de 2014 a 2018. O atendimento à legislação social (S11) foi plenamente realizado por BR1.

Em BR2, as informações sociais registraram redução de 13% no número de funcionários (S01) empregados de 2014 a 2018. A quantidade de sugestões de melhorias (S02) foi incrementada ao longo dos anos, mas os números são baixos em proporção à quantidade de funcionários. O aumento de satisfação no trabalho (S03) foi medida por meio da pesquisa de clima organizacional realizada anualmente.

Além disso, os indicadores de BR2 de dias de trabalho perdidos (S04) e número de acidentes (S05) registraram leve alta no período de cinco anos. O treinamento de funcionários (S06) foi intensificado em 2017 e 2018, como ação

para reduzir a quantidade de reclamações realizadas pelas montadoras, que é a métrica que monitora a satisfação de cliente (S10). Em termos de legislação social (S11), as leis trabalhistas foram plenamente atendidas por BR2.

Com a coleta dos dados realizada, o próximo passo foi converter as informações sociais em valores adimensionais. Os dados sociais normalizados de BR1 e BR2 estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Normalização dos dados sociais de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	BR1					BR2				
		2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Número de funcionários	↑ S01	1,00	0,69	0,00	0,04	0,28	1,00	0,71	0,56	0,87	0,00
Quantidade de sugestões de melhorias	↑ S02	1,00	0,63	0,00	0,78	0,67	0,00	0,35	0,65	0,94	1,00
Satisfação no trabalho	↑ S03	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,40	0,60	0,60	1,00
Dias de trabalho perdidos	↓ S04	0,00	0,95	0,68	1,00	1,00	0,92	1,00	0,83	0,00	0,33
Número de acidentes	↓ S05	0,25	0,50	1,00	0,00	0,75	1,00	0,50	0,50	0,00	0,00
Treinamento de funcionários	↑ S06	-	-	-	-	-	0,00	0,10	0,19	0,97	1,00
Equidade de gênero	↑ S07	0,00	0,00	0,33	0,67	1,00	-	-	-	-	-
Investimentos em projetos sociais	↑ S08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avaliação de fornecedores	↑ S09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reclamação de cliente	↓ S10	0,26	0,00	0,82	0,93	1,00	1,00	1,00	0,67	0,00	1,00
Atendimento à legislação social	↑ S11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

A etapa seguinte foi ponderar os dados de BR1 e BR2 para calcular o índice social global (SOC\_global). Os resultados do SOC\_global de BR1 denotaram avanços contínuos de desenvolvimento social da empresa. A evolução do índice social foi obtida pela melhoria do clima organizacional, do aumento da proporção de mulheres empregadas e as reduções de reclamações de clientes e de acidentes.

O desempenho social de BR2 foi estável no período, com pequena queda em 2017 seguida de leve crescimento em 2018. A estabilidade notada no índice social de BR2 foi consequência da compensação de perdas em alguns indicadores por resultados positivos de outras métricas. Nesse sentido, os prejuízos sociais causados pela redução de funcionários, aumento de dias de afastamento e de acidentes, foram compensados pelos benefícios obtidos com o clima organizacional mais agradável e os aumentos de participação de funcionários em sugestões de melhorias e horas de treinamento. Os dados ponderados e os índices sociais de BR1 e BR2 estão mostrados na tabela 13.

Tabela 13 – Ponderação dos resultados sociais de BR1 e BR2

Descrição do indicador	Código	Peso	BR1					BR2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Número de funcionários	↑ S01	0,013	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Quantidade de sugestões de melhorias	↑ S02	0,026	0,03	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03
Satisfação no trabalho	↑ S03	0,029	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03
Dias de trabalho perdidos	↓ S04	0,018	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01
Número de acidentes	↓ S05	0,038	0,01	0,02	0,04	0,00	0,03	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00
Treinamento de funcionários	↑ S06	0,031	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03
Equidade de gênero	↑ S07	0,027	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	-	-	-	-	-
Investimentos em projetos sociais	↑ S08	0,022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avaliação de fornecedores	↑ S09	0,031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reclamação de cliente	↓ S10	0,026	0,01	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00	0,03
Atendimento à legislação social	↑ S11	0,034	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
SOC_global			0,09	0,10	0,11	0,14	0,18	0,13	0,13	0,13	0,12	0,15

### 5.3 SUSTENTABILIDADE DE FÁBRICAS NA ITÁLIA

Nessa seção serão apresentados os resultados econômico, ambiental e social IT1 e IT2 no período de 2014 a 2018.

#### 5.3.1 Resultados econômicos de IT1 e IT2

Os dados econômicos da empresa IT1 revelaram leve oscilação do volume de vendas (E01) no período, com alternância de elevação e queda, mas mantendo o patamar de duas mil peças vendidas por ano. O faturamento (E02) teve o melhor resultado em 2014, mas apresentou quedas consecutivas nos dois anos seguintes, cenário que foi revertido com aumentos em 2017 e 2018. Os custos operacionais (E03) foram reduzidos em quase 23% em 2016 em comparação ao resultado de 2014, mantendo o patamar nos dois anos seguintes. O lucro (E04) teve o pior resultado em 2015, mas o cenário foi revertido em 2016 quando obteve o melhor nível e se manteve com leves oscilações nos anos seguintes.

As atividades de pesquisa e desenvolvimento (E05) de produtos são realizadas em um Centro Tecnológico da corporação, fora da fábrica IT1, por este motivo não há monitoramento desse indicador. Outro indicador sem monitoramento foi o de participação no mercado (E06). O gestor justificou a ausência desse indicador devido à ampla variedade de produtos, o que torna difícil a identificação de concorrentes existentes no mercado. A coleta de dados econômicos foi finalizada com a medição da Eficiência Global de Equipamento (E07), que se manteve acima da meta de 85% nos cinco anos.

A avaliação econômica de IT2 foi realizada em quatro indicadores que eram monitorados pela fábrica. Os resultados de volume de vendas (E01) e faturamento (E02) revelaram aumento significativo em 2018 em relação ao patamar realizado nos quatro anos anteriores. Esse fenômeno positivo ocorreu devido ao início de fornecimento de produtos a um novo cliente a partir de 2018. Resultado positivo também foi obtido em redução contínua de custos operacionais (E03). Ao contrário dos outros indicadores econômicos que mostraram estabilidade entre 2014 e 2017, os resultados de lucro (E04) apresentaram oscilações acentuadas entre os anos do período analisado.

Três indicadores econômicos não eram monitorados por IT2. As atividades de pesquisa e desenvolvimento de produtos (E05) eram realizadas fora da fábrica IT2, por este motivo não havia monitoramento desse indicador. Também, a ausência do indicador de participação no mercado (E06) foi justificada pela complexidade em identificar seus concorrentes. Ainda, o indicador de eficiência global de equipamento (E07) estava em fase de implantação. Os resultados dos indicadores econômicos de IT1 e IT2 estão mostrados na tabela 14.

Tabela 14 – Resultados econômicos de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	IT1					IT2				
		2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Vendas ↑	E01 [pc]	1.949.606	2.126.968	2.075.662	2.152.095	2.076.083	330.042	329.723	379.515	374.072	512.547
Faturamento ↑	E02 [x10 <sup>6</sup> €]	329,83	310,99	273,96	291,20	301,50	409,41	430,61	436,03	422,05	583,35
Custos operacionais ↓	E03 [€/pc]	163,38	141,77	125,69	129,40	128,04	1.197,94	1.299,24	1.117,90	1.117,99	1.095,92
Lucro ↑	E04 [x10 <sup>6</sup> €]	11,72	9,59	13,12	12,37	12,70	14,04	2,22	11,77	3,84	21,64
Pesquisa e desenvolvimento ↑	E05 [x10 <sup>6</sup> €]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Participação no mercado ↑	E06 [%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eficiência Global de Equipamento ↑	E07 [%]	86,44	87,00	87,10	87,96	87,13	-	-	-	-	-

A etapa seguinte foi a normalização dos dados econômicos de IT1 e IT2, que estão apresentados na tabela 15.

Tabela 15 – Normalização dos dados econômicos de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	IT1					IT2				
		2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Vendas ↑	E01	0,00	0,88	0,62	1,00	0,62	0,00	0,00	0,27	0,24	1,00
Faturamento ↑	E02	1,00	0,66	0,00	0,31	0,49	0,00	0,12	0,15	0,07	1,00
Custos operacionais ↓	E03	0,00	0,57	1,00	0,90	0,94	0,50	0,00	0,89	0,89	1,00
Lucro ↑	E04	0,60	0,00	1,00	0,79	0,88	0,61	0,00	0,49	0,08	1,00
Pesquisa e desenvolvimento ↑	E05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Participação no mercado ↑	E06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eficiência Global de Equipamento ↑	E07	0,00	0,37	0,43	1,00	0,45	-	-	-	-	-

Na etapa seguinte, os valores ponderados dos resultados foram calculados com o uso as equações 5, 6 e 7. Os valores de pesos foram obtidos em análises de especialistas, conforme descrito no capítulo 4. O resultado econômico global (ECO\_global) foi o somatório dos valores ponderados dos sete indicadores econômicos. Os dados de IT1 apresentados na tabela 16 denotaram que o resultado de 2014 foi o pior no período analisado. A partir de 2015 o desempenho econômico melhorou continuamente até alcançar o pico em 2017, seguido de queda em 2018.

Em relação aos dados de IT2, os valores ponderados indicaram que o melhor resultado econômico global (ECO\_global) foi alcançado em 2018. No entanto, esse resultado seria melhor caso houvesse o monitoramento das métricas de pesquisa e desenvolvimento (E05), participação no mercado (E06) e eficiência global de equipamento (E07). Os valores econômicos ponderados de IT1 e IT2 estão apresentados na tabela 16.

Tabela 16 – Ponderação dos dados econômicos de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	Peso	IT1					IT2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Vendas ↑	E01	0,031	0,00	0,03	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03
Faturamento ↑	E02	0,033	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03
Custos operacionais ↓	E03	0,037	0,00	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,00	0,03	0,03	0,04
Lucro ↑	E04	0,038	0,02	0,00	0,04	0,03	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,04
Pesquisa e desenvolvimento ↑	E05	0,034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Participação no mercado ↑	E06	0,018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eficiência Global de Equipamento ↑	E07	0,037	0,00	0,01	0,02	0,04	0,02	-	-	-	-	-
ECO_global			0,06	0,08	0,11	0,14	0,12	0,04	0,004	0,07	0,05	0,14

### 5.3.2 Resultados ambientais de IT1 e IT2

A análise ambiental de IT1 evidenciou a ausência de monitoramento de sete indicadores. A distinção dos materiais de fontes não-renovável (A01) ou renovável (A02) utilizados na fabricação de produtos não é realizada por IT1. Também, a fábrica não monitora ou recebe informação do Centro Tecnológico sobre projetos para ciclo de vida (A03). O reuso de materiais (A06) não é aplicável pela IT1.

Ainda, existem ações pontuais de IT1 para a conservação do habitat natural (A09), mas sem monitoramento de evolução dos resultados. Também, falta monitoramento do volume de efluente industrial (A11) gerado. A avaliação de fornecedores (A14) é realizada pelo departamento corporativo de Compras, que contempla fornecedores de todas as unidades do grupo, por este motivo, não há indicador de monitoramento dos fornecedores específicos da planta investigada.

Os dados ambientais de IT2 estavam disponíveis em doze dos quatorze indicadores utilizados nessa investigação. Os monitoramentos de reciclagem (A05) e reuso (A06) foram iniciados a partir de 2016. As métricas de conservação do habitat natural (A09) e avaliação de fornecedores (A14) não eram consideradas pela empresa. Os dados ambientais absolutos de IT1 e IT2 estão mostrados na tabela 17.

Tabela 17 – Resultados ambientais absolutos de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	Unid.	IT1					IT2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Consumo de materiais não-renováveis	↓ A01	[ton]	-	-	-	-	-	49.506,30	49.128,73	55.788,71	54.240,44	71.756,58
Consumo de materiais renováveis	↑ A02	[ton]	-	-	-	-	-	7.476,00	6.741,30	7.271,45	7.043,30	6.887,30
Projeto para ciclo de vida	↑ A03	%	-	-	-	-	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Uso de materiais perigosos	↓ A04	[ton]	2.734,00	1.939,45	2.130,21	1.955,83	1.321,87	692,50	699,90	664,50	598,60	781,80
Reciclagem	↑ A05	[ton]	4.450,41	3.935,63	3.604,57	3.892,61	3.513,26	-	-	760,49	865,40	1.166,57
Reuso	↑ A06	[ton]	-	-	-	-	-	-	-	6.510,96	6.170,27	5.720,75
Consumo de energia	↓ A07	[MWh]	51.324,05	54.528,21	59.354,11	63.033,96	60.136,00	56.975,00	52.654,00	50.473,00	50.373,00	54.745,00
Consumo de água	↓ A08	[m <sup>3</sup> ]	119.981,00	97.050,00	111.939,00	158.745,00	129.275,00	117.564,00	118.198,00	112.917,00	115.096,00	112.252,00
Conservação do habitat natural	↑ A09	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão de gases de efeito estufa	↓ A10	[tonCO <sub>2</sub> ]	19.680,24	20.819,28	20.737,49	21.563,63	20.572,25	56.988,00	1.848,00	103,00	27,00	150,00
Geração de efluente industrial	↓ A11	[m <sup>3</sup> ]	-	-	-	-	-	53.179,00	44.302,00	41.412,00	40.555,00	47.214,00
Geração de resíduos sólidos	↓ A12	[ton]	7.239,41	5.949,38	5.786,41	5.909,04	4.941,13	7.915,00	7.134,00	7.534,00	7.301,00	7.282,00
Atendimento à legislação ambiental	↑ A13	[%]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Avaliação de fornecedores	↑ A14	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A etapa seguinte consistiu em converter os dados ambientais absolutos em valores relativos ao volume de produção. Os resultados ambientais relativos de IT1 e IT2 estão apresentados na tabela 18.

Tabela 18 – Resultados ambientais relativos de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	Unid.	IT1					IT2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Consumo de materiais não-renováveis ↓	A01	[kg/pp]	-	-	-	-	-	150,02	149,31	147,50	145,23	139,97
Consumo de materiais renováveis ↑	A02	[kg/pp]	-	-	-	-	-	22,65	20,45	19,16	18,83	13,44
Projeto para ciclo de vida ↑	A03	%	-	-	-	-	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Uso de materiais perigosos ↓	A04	[kg/pp]	1,40	0,91	1,03	0,91	0,64	2,10	2,12	1,75	1,60	1,53
Reciclagem ↑	A05	[kg/pp]	2,28	1,85	1,74	1,81	1,69	-	-	2,00	2,31	2,28
Reuso ↑	A06	[kg/pp]	-	-	-	-	-	-	-	17,16	16,49	11,16
Consumo de energia ↓	A07	[kWh/pp]	26,33	25,64	28,60	29,29	28,97	172,63	159,69	132,99	134,66	106,81
Consumo de água ↓	A08	[l/pp]	61,54	45,63	53,93	73,76	62,27	356,21	358,48	297,53	307,68	219,01
Conservação do habitat natural ↑	A09	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão de gases de efeito estufa ↓	A10	g CO <sub>2</sub> /p	10,09	9,79	9,99	10,02	9,91	172,67	5,60	0,27	0,07	0,29
Geração de efluente industrial ↓	A11	[l/pp]	-	-	-	-	-	161,13	134,36	109,12	108,41	92,12
Geração de resíduos sólidos ↓	A12	[kg/pp]	3,71	2,80	2,79	2,75	2,38	23,98	21,64	19,85	19,52	14,21
Atendimento à legislação ambiental ↑	A13	[%]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Avaliação de fornecedores ↑	A14	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Na sequência, os dados ambientais de IT1 e IT2 foram normalizados com a aplicação das equações 1 e 2. Os resultados de IT1 indicaram redução no uso de materiais perigosos (A04) ao longo dos anos. Com relação à reciclagem (A05), notou-se que o maior volume foi em 2014 com declínios em 2015 e 2016, aumento em 2017 e o pior nível em 2018. Os consumos de energia (A07) e água (A08) tiveram desempenhos semelhantes, com oscilações no período que revelou em 2015 o melhor resultado e em 2017 o pior. A emissão de gases poluentes (A10) atingiu o menor nível 2015, com oscilações nos anos seguintes. A quantidade de resíduos sólidos (A12) foi reduzida continuamente no período analisado. O atendimento à legislação ambiental (A13) ocorreu plenamente no período analisado.

Os dados normalizados de IT2 enfatizaram que os resultados ambientais de 2018 foi o melhor no período, com nove métricas atingindo o valor máximo normalizado. Exceção feita ao consumo de materiais renováveis, reciclagem e reuso. Os dados ambientais normalizados de IT1 e IT2 estão apresentados na tabela 19.



Tabela 19 – Normalização dos dados ambientais de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	IT1					IT2				
		2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Consumo de materiais não-renováveis ↓	A01	-	-	-	-	-	0,00	0,07	0,25	0,48	1,00
Consumo de materiais renováveis ↑	A02	-	-	-	-	-	1,00	0,76	0,62	0,59	0,00
Projeto para ciclo de vida ↑	A03	-	-	-	-	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Uso de materiais perigosos ↓	A04	0,00	0,64	0,49	0,64	1,00	0,04	0,00	0,62	0,87	1,00
Reciclagem ↑	A05	1,00	0,27	0,08	0,20	0,00	-	-	0,87	1,00	0,98
Reuso ↑	A06	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,96	0,65
Consumo de energia ↓	A07	0,81	1,00	0,19	0,00	0,09	0,00	0,20	0,60	0,58	1,00
Consumo de água ↓	A08	0,43	1,00	0,70	0,00	0,41	0,02	0,00	0,44	0,36	1,00
Conservação do habitat natural ↑	A09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão de gases de efeito estufa ↓	A10	0,00	1,00	0,34	0,24	0,61	0,00	0,97	1,00	1,00	1,00
Geração de efluente industrial ↓	A11	-	-	-	-	-	0,00	0,39	0,75	0,76	1,00
Geração de resíduos sólidos ↓	A12	0,00	0,69	0,69	0,73	1,00	0,00	0,24	0,42	0,46	1,00
Atendimento à legislação ambiental ↑	A13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Avaliação de fornecedores ↑	A14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A ponderação dos dados possibilitou obter o resultado ambiental global (AMB\_global). Na análise de cinco anos, a operação de IT1 obteve em 2015 o melhor resultado ambiental, com declínios nos dois anos seguintes e recuperação em 2018. O aumento dos consumos de energia e água refletiu no fraco resultado ambiental em 2017. No ano seguinte, a reversão do cenário foi realizada devido a ganhos ambientais com a redução do uso de materiais perigosos, consumo de água e geração de resíduos sólidos.

Os valores ambientais ponderados de IT2 indicaram aumento significativo de resultado ambiental realizado a partir de 2015 quando a empresa começou a adquirir energia elétrica de fontes verdes. A companhia italiana de distribuição de energia elétrica possibilita a consumidores a escolha da fonte de geração de energia, verde (eólica) ou convencional (termoelétricas). A tarifa paga pela energia eólica é 0,02€ mais cara por MWh contratado, o que causou impacto superior a 1.100€ por ano. Entretanto, a escolha da fábrica por energia verde resultou em queda drástica em contagem de emissões de CO<sub>2</sub>, o que melhorou o resultado ambiental da empresa. Além disso, outro fator que influenciou positivamente foi o início da contagem de reciclagem e reuso de materiais a partir de 2016. Os dados ambientais ponderados de IT1 e IT2 estão apresentados na tabela 20.

Tabela 20 – Ponderação dos dados ambientais de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	Peso	IT1					IT2				
			2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Consumo de materiais não-renováveis ↓	A01	0,039	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04
Consumo de materiais renováveis ↑	A02	0,035	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,02	0,02	0,00
Projeto para ciclo de vida ↑	A03	0,039	-	-	-	-	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Uso de materiais perigosos ↓	A04	0,032	0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03
Reciclagem ↑	A05	0,034	0,03	0,01	0,00	0,01	0	-	-	0,03	0,03	0,03
Reuso ↑	A06	0,036	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,03	0,02
Consumo de energia ↓	A07	0,036	0,03	0,04	0,01	0	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,04
Consumo de água ↓	A08	0,033	0,01	0,03	0,02	0	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03
Conservação do habitat natural ↑	A09	0,038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão de gases de efeito estufa ↓	A10	0,036	0	0,04	0,01	0,01	0,02	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04
Geração de efluente industrial ↑	A11	0,031	-	-	-	-	-	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03
Geração de resíduos sólidos ↓	A12	0,033	0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
Atendimento à legislação ambiental ↑	A13	0,030	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Avaliação de fornecedores ↑	A14	0,028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMB_global			0,11	0,19	0,11	0,09	0,13	0,10	0,16	0,29	0,31	0,37

### 5.3.3 Resultados sociais de IT1 e IT2

As informações sociais de IT1 foram levantadas em nove indicadores. As métricas de satisfação no trabalho (S03) e avaliação de fornecedores (S09) não eram monitoradas por IT1. O número de funcionários (S01) foi reduzido em 118 pessoas em cinco anos. A quantidade de sugestões de melhorias (S02) aumentou em 26% de 2014 a 2018. Dias de trabalho perdidos (S04) devido a afastamento médico apresentou oscilação ao longo do período, com o melhor resultado em 2016. Número de acidentes (S05) e quantidade de horas de treinamento de funcionários (S06) também tiveram altos e baixos, com a menor quantidade registrada em 2018.

Ainda sobre os resultados sociais de IT1, o indicador de equidade de gênero (S07) apontou que a proporção de mulheres empregadas em relação a homens não apresentou mudanças significativas no período analisado. Os investimentos em projetos sociais (S08) foram aumentados a partir de 2015, alcançando o melhor nível em 2018. O índice de satisfação do cliente (S10) é monitorado pela quantidade de reclamações das montadoras de veículos, o que tem sido continuamente reduzida. Com relação ao atendimento à legislação social (S11), a fábrica IT1 cumpriu plenamente os requisitos legais no período analisado.

Os dados sociais de IT2 eram monitorados por oito dos onze indicadores consultados. As métricas de satisfação no trabalho (S03), investimentos em projetos sociais (S08) e avaliação de fornecedores (S09) não eram monitorados pela fábrica. O indicador de sugestões de melhoria (S02) foi implantado em 2018 e o critério de medição de satisfação do cliente (S10) foi modificado em 2016, por este motivo não foram considerados os anos anteriores.

Os resultados de IT2 indicaram que os melhores resultados sociais foram alcançados em 2018 em seis métricas, número de funcionários (S01), quantidade de sugestões de melhoria (S02), dias de trabalho perdidos (S04), número de acidentes (S05), equidade de gênero (S07) e atendimento à legislação social (S11). Exceção aos indicadores horas de treinamento de funcionários (S06) e satisfação do cliente (S10) tiveram os melhores resultados em 2017. Os resultados sociais de IT1 e IT2 estão apresentados na tabela 21.

Tabela 21 – Resultados sociais de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	IT1					IT2				
		2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Número de funcionários	↑ S01	1.981	1.938	1.917	1.898	1.863	800	804	799	811	814
Quantidade de sugestões de melhorias	↑ S02	2.701	3.548	3.175	3.142	3.417	-	-	-	-	343
Satisfação no trabalho	↑ S03 [%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dias de trabalho perdidos	↓ S04	78	69	37	76	51	89	0	0	22	0
Número de acidentes	↓ S05	12	7	5	9	3	1	0	0	1	0
Treinamento de funcionários	↑ S06 [h]	35.852	33.160	15.132	27.802	14.405	32	33	30	62	35
Equidade de gênero	↑ S07 [%]	8,18%	8,20%	8,29%	8,17%	7,73%	3,25%	3,23%	3,43%	3,58%	3,81%
Investimentos em projetos sociais	↑ S08	41.500,00	36.320,00	49.500,00	50.750,00	54.950,00	-	-	-	-	-
Avaliação de fornecedores	↑ S09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reclamação de cliente	↓ S10	92	54	40	31	18	-	-	6	0	15
Atendimento à legislação social	↑ S11 [%]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

As informações dos indicadores sociais de IT1 e IT2 foram normalizadas, conforme estão mostradas na tabela 22.

Tabela 22 – Normalização dos dados sociais de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	IT1					IT2				
		2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Número de funcionários	↑ S01	1,00	0,64	0,46	0,30	0,00	0,07	0,33	0,00	0,80	1,00
Quantidade de sugestões de melhorias	↑ S02	0,00	1,00	0,56	0,52	0,85	-	-	-	-	1,00
Satisfação no trabalho	↑ S03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dias de trabalho perdidos	↓ S04	0,00	0,22	1,00	0,05	0,66	0,00	1,00	1,00	0,75	1,00
Número de acidentes	↓ S05	0,00	0,56	0,78	0,33	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00
Treinamento de funcionários	↑ S06	1,00	0,87	0,03	0,62	0,00	0,06	0,09	0,00	1,00	0,16
Equidade de gênero	↑ S07	0,79	0,84	1,00	0,77	0,00	0,03	0,00	0,34	0,60	1,00
Investimentos em projetos sociais	↑ S08	0,28	0,00	0,71	0,77	1,00	-	-	-	-	-
Avaliação de fornecedores	↑ S09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reclamação de cliente	↓ S10	0,00	0,51	0,70	0,82	1,00	-	-	0,60	1,00	0,00
Atendimento à legislação social	↑ S11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

A ponderação dos dados permitiu a obtenção do resultado social global (SOC\_global). O desempenho social de IT1 apresentou evolução em 2015 e se manteve estável, com leve oscilação nos anos seguintes. Com tendência diferente, os valores ponderados de IT2 revelaram melhoria contínua do desempenho social no período analisado. Os dados sociais ponderados de IT1 e IT2 estão apresentados na tabela 23.

Tabela 23 – Ponderação dos resultados sociais de IT1 e IT2

Descrição do indicador	Código	IT1					IT2				
		2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Número de funcionários	↑ S01 0,013	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Quantidade de sugestões de melhorias	↑ S02 0,026	0,00	0,03	0,01	0,01	0,02	-	-	-	-	0,03
Satisfação no trabalho	↑ S03 0,029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dias de trabalho perdidos	↓ S04 0,018	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02
Número de acidentes	↓ S05 0,038	0,00	0,02	0,03	0,01	0,04	0,00	0,04	0,04	0,00	0,04
Treinamento de funcionários	↑ S06 0,031	0,03	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Equidade de gênero	↑ S07 0,027	0,02	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
Investimentos em projetos sociais	↑ S08 0,022	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	-	-	-	-	-
Avaliação de fornecedores	↑ S09 0,031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reclamação de cliente	↓ S10 0,026	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	-	-	0,02	0,03	0,00
Atendimento à legislação social	↑ S11 0,034	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
SOC_global		0,11	0,16	0,16	0,14	0,15	0,04	0,10	0,11	0,13	0,16

Os resultados econômicos, ambientais e sociais coletados das empresas foram dados de entrada para a avaliação de sustentabilidade em manufatura, que está apresentado na próxima seção.

#### 5.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SUSTENTABILIDADE

O desempenho de sustentabilidade em manufatura foi avaliado sob a perspectiva de sustentabilidade forte. A análise de cinco anos dos resultados econômico, ambiental e social de fábricas possibilitou avaliar o desempenho de sustentabilidade das operações em relação ao histórico de seus resultados e comparado a outras empresas.

Além disso, a análise isolada dos valores médios de desempenho econômico, ambiental e social possibilitou destacar a dimensão que teve melhor resultado no período. As constatações dessa análise evidenciaram o direcionamento das ações implantadas pelas empresas.

### 5.4.1 Desempenho de sustentabilidade

A sustentabilidade das fábricas foi calculada por meio da soma dos índices econômico (ECO\_global), ambiental (AMB\_global) e social (SOC\_global) das fábricas. As informações das quatro empresas avaliadas nesse estudo estão apresentadas na tabela 24.

Tabela 24 – Resultado dos índices de desempenho das empresas

FAB. ÍNDICES	2014	2015	2016	2017	2018	DESEMPENHO MÉDIO	
IT1	ECO_global	6%	8%	11%	14%	12%	10%
	AMB_global	11%	19%	11%	9%	13%	13%
	SOC_global	11%	16%	16%	14%	15%	14%
	SUSTENTABILIDADE	27%	43%	39%	37%	41%	37%
IT2	ECO_global	4%	0,4%	7%	5%	14%	6%
	AMB_global	10%	16%	29%	31%	37%	25%
	SOC_global	4%	10%	11%	13%	16%	11%
	SUSTENTABILIDADE	18%	26%	47%	49%	67%	41%
BR1	ECO_global	8%	10%	4%	13%	21%	11%
	AMB_global	13%	15%	12%	16%	20%	15%
	SOC_global	9%	10%	11%	14%	18%	12%
	SUSTENTABILIDADE	30%	35%	28%	43%	59%	39%
BR2	ECO_global	9%	9%	14%	14%	15%	12%
	AMB_global	23%	13%	16%	17%	22%	18%
	SOC_global	13%	13%	13%	12%	15%	13%
	SUSTENTABILIDADE	45%	35%	43%	42%	52%	43%

A avaliação dos resultados foi realizada com base na escala de desempenho que contém três níveis: baixo, regular e alto. A definição dos níveis de sustentabilidade foi referenciada na escala utilizada por Ghadimi *et al.* (2012), que definiram o nível baixo de 0 a 33%, regular de 34% a 66% e alto de 67% a 100%. Assim, a proporção foi utilizada para a definição dos níveis das dimensões econômica, ambiental e social.

A Sustentabilidade Forte quantificada nesse estudo é constituída por 23% da dimensão econômica, 48% a ambiental e 29% social. Então, a aplicação da escala nas dimensões de Sustentabilidade Forte sugere os limites apresentados na tabela 25. O resultado econômico é baixo até 7%, regular entre 8% e 15% e alto a partir de 16%. O ambiental é baixo até 16%, regular entre 17% e 31% e

alto a partir de 32%. O social é baixo até 9%, regular entre 10% e 19% e alto a partir de 20%.

Tabela 25 – Escala de desempenho

Resultado	Participação em Sust. Forte	Escala de desempenho		
		Baixo	Regular	Alto
ECO_global	23%	≤ 7%	8 - 15	≥ 16%
AMB_global	48%	≤ 16%	17 - 31	≥ 32%
SOC_global	29%	≤ 9%	10 - 19	≥ 20%
SUSTENTABILIDADE	100%	≤ 33%	34 - 66	≥ 67%

Fonte: adaptado de Ghadimi *et al.* (2012)

Os resultados de sustentabilidade das fábricas indicaram que os quatro casos estão posicionados no nível regular de sustentabilidade. Apesar da proximidade dos valores médios de desempenho medido em cinco anos, foram identificadas tendências distintas nos resultados das empresas. As informações de desempenho das fábricas IT1, IT2, BR1 e BR2 estão ilustradas na figura 25.

Os resultados econômicos de IT1 revelaram baixo desempenho em 2014, com aumentos consecutivos nos três anos seguintes, pequena queda em 2018, mas com manutenção no nível regular de desempenho. Os esforços realizados para redução de custos, associados à manutenção de volume de vendas e lucro, têm sido importantes para o crescimento econômico do negócio.

O desempenho ambiental de IT1 apresentou oscilação no período analisado. Predominantemente, a operação obteve baixo desempenho que variou entre 9% e 13%, com exceção ao resultado de 2015 que foi o melhor do período e alcançou o nível regular. A elevação de nível obtida em 2015 foi devido à redução dos consumos de eletricidade e água e de emissão de gases poluentes. Em contraponto, a queda de desempenho em 2016 foi motivada pelo aumento do uso de materiais perigosos, energia, água, emissão de gases poluentes e redução da reciclagem.

O resultado social de IT1 foi regular nos cinco anos analisados. O resultado de 2015 revelou aumento de 45% em relação ao ano anterior. Esse fenômeno foi devido, principalmente, ao aumento da quantidade de sugestões de melhorias, à redução de acidentes e de reclamações de montadoras de veículos, que elevou o resultado de satisfação de cliente. Apesar da quantidade de funcionários ter diminuído ao longo dos anos, esse indicador é o que exerce

menor relevância na dimensão social. Além disso, os ganhos obtidos em algumas métricas se sobressaíram às perdas e garantiram o resultado social global com leve oscilação nos últimos quatro anos.

Como consequência dos resultados econômico, ambiental e social, o desempenho de sustentabilidade de IT1 apresentou variações no período. Inicialmente, a sustentabilidade de IT1 apresentou baixo desempenho, mas mudou de patamar a partir de 2015 quando obteve o melhor resultado, influenciado pelos ganhos ambientais registrados. Ainda com desempenho regular, quedas foram notadas nos dois anos seguintes, até a recuperação em 2018.

Os dados econômicos de IT2 revelaram baixo desempenho no período de 2014 a 2017, com evolução para o patamar regular em 2018. O resultado de 2015 foi o menor do período, com os piores números de vendas, custos e lucro. Em contraponto, o salto obtido em 2018 foi impulsionado pelo início de fornecimento a um novo cliente, o que alavancou 38% o volume de vendas e faturamento. Além disso, o lucro em 2018 foi 270% maior em relação ao resultado médio registrado entre 2014 e 2017.

O desempenho ambiental de IT2 evoluiu continuamente no período, partindo do nível baixo em 2014, seguido de três anos regulares e alcançou o nível alto em 2018. A mudança de patamar em 2015 foi devido ao início de aquisição de eletricidade de fontes verdes, o que reduziu drasticamente a contagem de emissão de CO<sub>2</sub>. Outro aumento relevante notado no desempenho ambiental ocorreu em 2016, quando IT2 começou a monitorar os indicadores de reciclagem e reuso. Ainda, ações implantadas para reduzir o uso de materiais perigosos, eletricidade, água, geração de efluente industrial e resíduos sólidos garantiram ganhos contínuos para o meio ambiente.

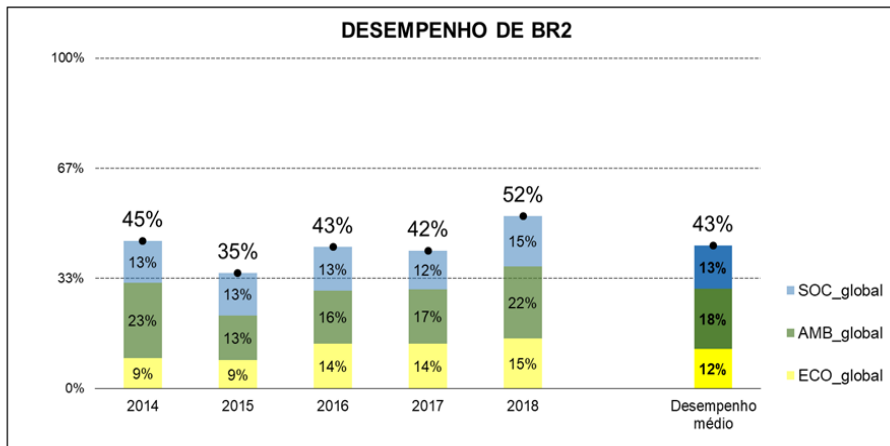
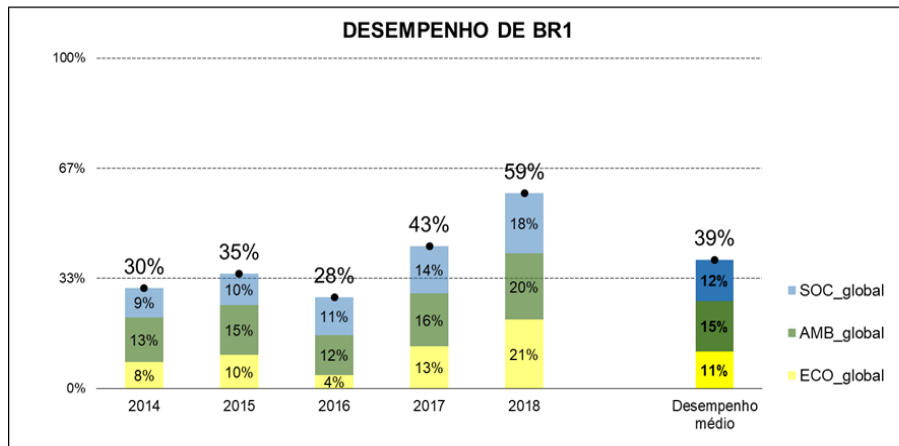
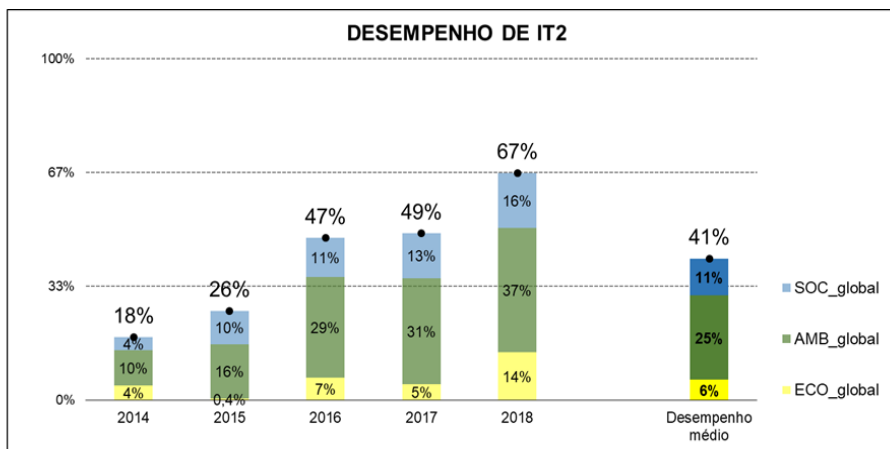
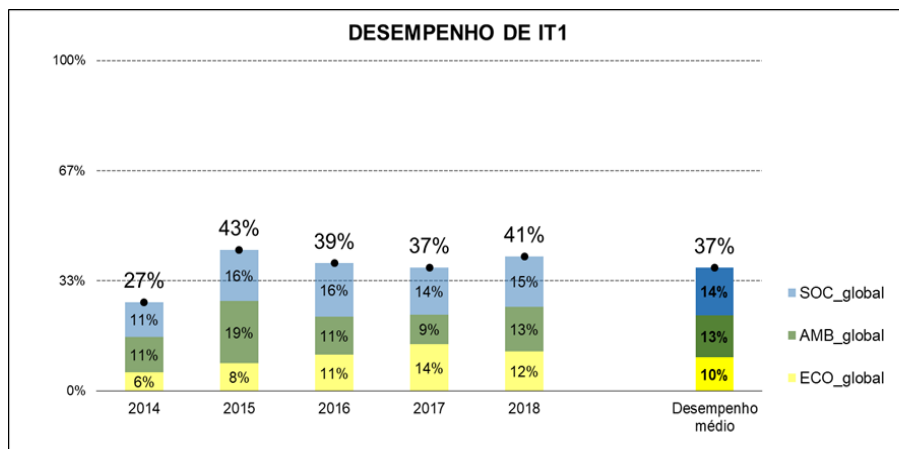


Figura 25 – Desempenho de sustentabilidade das empresas.  
 Fonte: dados extraídos da tabela 24.



Os resultados sociais de IT2 também cresceram continuamente no período. Os indicadores sociais registraram baixo desempenho em 2014, resultado que foi elevado para o nível regular nos anos seguintes. A melhoria notada em 2015 foi devido às reduções dos dias perdidos de trabalho e de acidentes. Em 2016, o aumento de desempenho foi causado pelo início da nova metodologia de contagem de reclamações de clientes. No ano seguinte, o aumento de números de funcionários, horas de treinamento e satisfação de cliente alavancaram o desempenho social. Em 2018, IT2 começou a contar a quantidade de sugestões de melhoria, o que contribuiu para elevar o resultado social global da empresa.

O crescimento acentuado do desempenho de sustentabilidade de IT2 indicou que as ações tomadas pelos gestores proporcionaram ganhos econômicos e benefícios ao meio ambiente e à sociedade. Os valores relativos mostraram aumento de trezentos e sessenta por cento de sustentabilidade de IT2 em cinco anos. O resultado de sustentabilidade em 2018 foi superior ao valor médio em cinco anos, o que denotou a adequação do planejamento estratégico na definição de ações para conduzir a empresa ao nível alto de sustentabilidade.

O desempenho econômico de BR1 foi regular nos dois primeiros anos analisados, caiu para o nível baixo em 2016, mas o cenário foi revertido com o crescimento acentuado no ano seguinte e atingiu o alto nível econômico em 2018. A queda do resultado econômico de BR1 em 2016 foi influenciada pela situação econômica desfavorável no Brasil, que registrou PIB negativo em 2015 e 2016. A retração do mercado interno brasileiro associada à desvalorização da moeda local em relação ao Dólar, estimularam o aumento de exportação de produtos, o que aumentou o ganho econômico de BR1.

Em termos ambientais, os dados de BR1 indicaram baixo desempenho nos quatro primeiros anos analisados. O nível de desempenho cresceu para regular em 2018. A recuperação dos resultados ambientais de BR1 foi impulsionada pelo aumento de remanufatura (reuso) de peças, da eficiência no uso de energia e água e a redução de emissão de gases poluentes.

Na dimensão social, o desempenho de BR1 foi continuamente crescente. O resultado foi categorizado em nível regular a partir de 2015. A preocupação em melhorar o aspecto social foi notada nas informações coletadas de BR1. Ações para prevenir acidentes, tornar mais agradável o ambiente de trabalho e

elevar a qualidade dos produtos direcionou o resultado social de BR1 próximo ao nível alto em 2018.

O índice de sustentabilidade de BR1 refletiu os resultados positivos alcançados nos últimos dois anos analisados. O desempenho econômico foi destaque na mudança do patamar de sustentabilidade de BR1. Nesse sentido, o avanço econômico no biênio 2017-2018 foi superior à evolução das dimensões ambiental e social somadas.

Os resultados de BR2 apontaram nível regular de desempenho econômico no período analisado. O desenvolvimento gradual de BR2 conduziu o resultado de 2018 próximo ao nível alto. O aumento de vendas e a redução de custos contribuíram para atingir esse patamar. A exportação de produto foi aumentada a partir do segundo semestre de 2016. Também, a redução de custos que envolveu a diminuição de compra de matéria prima renovável, foram estratégias definidas pela direção.

O desempenho ambiental de BR2 foi regular, exceto em 2015 quando teve nível baixo, motivado pelo aumento dos consumos de energia e água e emissão de gases poluentes. Os resultados ambientais negativos de BR2 em 2015 foram influenciados pela queda das vendas de produtos naquele ano. O aspecto econômico teve impacto direto no resultado ambiental de BR2 ao longo dos anos. O foco em redução de custos diminuiu o volume adquirido matéria-prima renovável, o que piorou o resultado desse indicador. Por outro lado, ações para cortar custos contribuíram para atingir os menores números em consumos de eletricidade de água.

Os dados sociais de BR2 indicaram estabilidade dos resultados ao longo dos anos. A evolução de alguns indicadores compensou a queda de rendimento em outras métricas. Nesse aspecto, a redução de custos influenciou negativamente os resultados sociais, com a diminuição de funcionários. Por outro lado, ações que não requeriam investimento contribuíram para melhorar o clima organizacional e treinar operadores e analistas em postos de trabalho.

Os valores do índice de sustentabilidade de BR2 estiveram no nível regular durante os cinco anos. O pior resultado realizado foi em 2015, devido à queda do desempenho ambiental. Ações com propósito de redução de custos contribuiu para elevar a sustentabilidade da empresa.

#### 5.4.2 Análise individual das dimensões de sustentabilidade

A participação das dimensões em Sustentabilidade Forte limitou o desempenho econômico em 23%, o ambiental em 48% e o social em 29%. A escala que priorizou a conservação do ecossistema proporcionou a apresentação dos dados consolidados no índice de sustentabilidade, que ofereceu a visão global dos resultados da fábrica. Entretanto, o agrupamento das informações tornou difícil o entendimento sobre o desempenho individual das dimensões.

Neste contexto, os desempenhos médios das dimensões de sustentabilidade foram investigados individualmente. A análise consistiu em converter os dados das dimensões em escala de zero a cem por cento. A operação consistiu em dividir o valor médio da dimensão no indicador de sustentabilidade pelo valor máximo da dimensão em Sustentabilidade Forte. Assim, o resultado econômico foi dividido por 23%, o ambiental por 48% e o social por 29%, que são os limites definidos em Sustentabilidade Forte. Os dados de desempenho em escala individual por dimensão, estão apresentados na tabela 26.

Tabela 26 – Análise individual das dimensões

Dimensão	Escala de Sust. Forte	Valor médio do indicador de sust.				Análise por dimensão (0-100%)			
		BR1	BR2	IT1	IT2	BR1	BR2	IT1	IT2
Econômica	23%	11%	12%	10%	6%	48%	52%	43%	26%
Ambiental	48%	15%	18%	13%	25%	31%	38%	27%	52%
Social	29%	12%	13%	14%	11%	41%	45%	48%	38%

As constatações dessa análise evidenciaram o direcionamento das ações implantadas pelas empresas. O resultado de BR1 denotou que a dimensão econômica foi predominante. As ações tomadas para alavancar vendas e lucro com exportações de produtos foram destaques. O resultado de BR2 também ressaltou que o crescimento econômico foi superior ao socioambiental. Com isso, a análise em fábricas brasileiras revelou que o aspecto econômico foi prioridade em tomadas de decisão. A estratégia de BR2 em diminuir a aquisição de matéria-prima renovável para reduzir custos é um exemplo dessa constatação.

Por outro lado, os dados de fábricas na Itália ressaltaram os aspectos social e ambiental. O resultado de IT1 apontou que o retorno obtido com a redução de acidentes, satisfação de cliente e de comunidade local, por meio de projetos sociais, foram superiores ao crescimento econômico. Em relação à IT2, questões ambientais foram prioridade. Uma evidência dessa constatação foi o custo adicional para aquisição de energia verde, que reduziu drasticamente a contagem de emissão de CO<sub>2</sub>. Os dados da análise de desempenho das empresas por dimensão estão apresentados na figura 26.

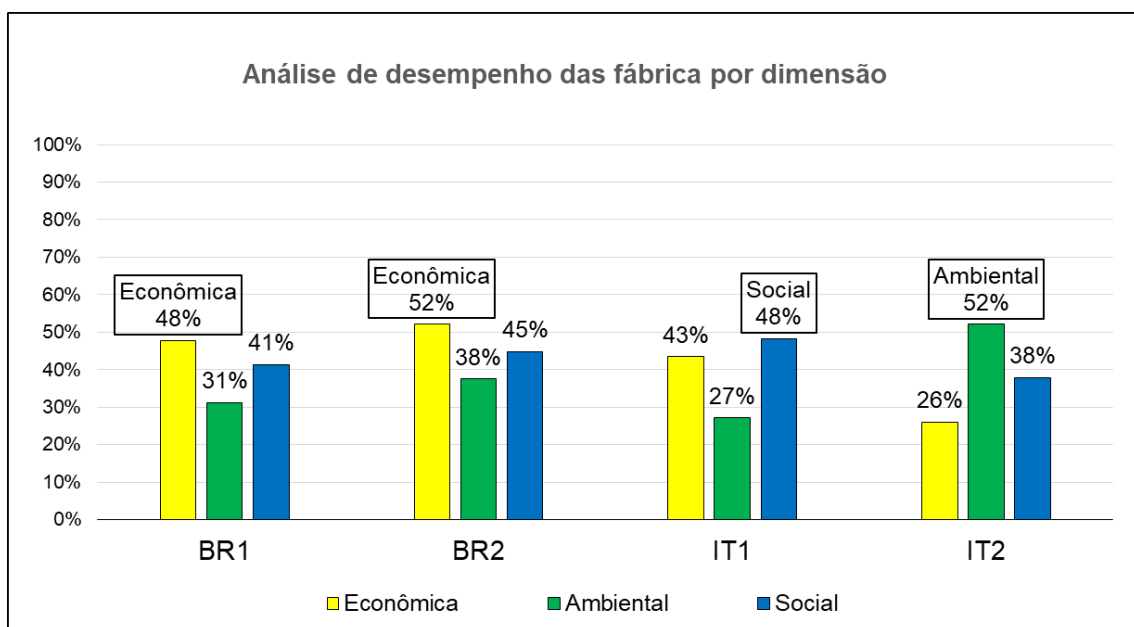


Figura 26 – Análise individual das dimensões.  
Fonte: dados obtidos da tabela 26.

## CAPÍTULO 6 – DISCUSSÃO

A investigação realizada nesse trabalho de pesquisa levantou aspectos significativos em avaliação de sustentabilidade. Inicialmente, foram identificadas na literatura publicações sobre avaliação de sustentabilidade que falharam em medir as três dimensões de sustentabilidade. A identificação de vinte e três pesquisas que abordaram apenas métricas de ecoeficiência e cinco com enfoque exclusivo em métricas sociais, revelaram que as avaliações propostas não abrangeram a essência da sustentabilidade. Esse resultado corroborou com a constatação de Büyükoçkan e Karabulut (2018) que afirmaram que as atividades econômicas globais crescem de maneira insustentável.

Neste sentido, a ausência de um dos pilares descaracteriza a sustentabilidade e os resultados induzem tomada de ações equivocadas, o que pode causar desequilíbrio no desenvolvimento sustentável. Assim, pesquisadores têm papel fundamental na correção desse equívoco, ao mencionar sustentabilidade exclusivamente em investigações que tratam das três dimensões.

Outro aspecto notado foi a ausência de estudos quantitativos sobre Sustentabilidade Forte. Apesar do crescente interesse acerca do tema, as publicações sobre Sustentabilidade Forte apresentaram abordagem qualitativa. A ausência de estudos quantitativos é justificada pela dificuldade em estabelecer os limites naturais de fornecimento de recursos e absorção de poluição. Essa constatação também foi relatada no estudo de Bjørn e Røpke (2018), que apontaram necessidade de conhecimento profundo em ciências ambientais para a contagem dos limiares de ecossistema, o que torna difícil a abordagem de Sustentabilidade Forte no contexto corporativo.

Apesar da complexidade em estimar a capacidade de carregamento dos sistemas naturais, a avaliação em termos relativos realizada neste trabalho de pesquisa demonstrou que é possível inserir os princípios de Sustentabilidade Forte no monitoramento do desempenho de empresas de manufatura.

A definição de pesos para os indicadores econômicos, ambientais e sociais também foi um resultado significativo desse trabalho. A análise de especialistas para atribuir a relevância dos indicadores de sustentabilidade

proporcionou a base de dados para o cálculo de pesos das métricas monitoradas. A realização de *survey* com especialistas também foi identificada nos estudos de Beekaroo *et al.* (2019) e Chang e Cheng (2019) que coletaram opiniões de conhecedores da área para a construção de seus modelos ponderados de avaliação de sustentabilidade. O resultado da análise de especialistas foi coerente com a definição de Sustentabilidade Forte de Daly (2007), o que denotou a adequação dessa metodologia.

Em termos de aplicação do modelo proposto, a avaliação de sustentabilidade das fábricas possibilitou as análises de desempenho individual dos casos e a comparação de seus resultados. As quatro empresas registraram nível regular de sustentabilidade na média do período analisado. Entretanto, a evolução dos resultados mostrou diferenças significativas.

Os dados de BR1 demonstraram desenvolvimento sustentável, que foi impulsionado principalmente pelo crescimento econômico. Apesar do cenário desfavorável da economia brasileira, a valorização do Dólar em relação do Real estimulou o aumento de exportações, que refletiu em significativo progresso sustentável entre 2017 e 2018.

No entanto, o resultado econômico de BR1 em 2018 foi próximo ao limite da escala de Sustentabilidade Forte (23%), o que indicou que a empresa precisa avançar no aspecto socioambiental para alcançar o nível alto de sustentabilidade. Essa constatação corroborou as conclusões de Pelenc e Ballet (2015) que demonstraram a importância do bem-estar social e do capital natural em projetos de desenvolvimento de Sustentabilidade Forte. Nesse sentido, a implantação de indicadores em métricas que não são controladas é o primeiro passo para melhorar a gestão ambiental e social.

Os resultados de BR2 também destacaram evolução de sustentabilidade. Ações com foco em redução de custos contribuíram para os crescimentos econômico e ambiental. No entanto, decisões que priorizaram o resultado financeiro prejudicaram o desempenho de alguns indicadores ambientais como, por exemplo, a redução do uso de matéria-prima de fonte renovável. Essa evidência ratificou as conclusões de Martins (2016), que argumentou a existência de restrições para a Sustentabilidade Forte devido ao predomínio da economia neoclássica nos negócios, caracterizada pelo fluxo linear de recursos naturais.

Nesse contexto, estudos sobre Sustentabilidade Forte, economia circular e ecologia industrial enfatizam os ganhos obtidos para o desenvolvimento sustentável. Assim, o aumento de pesquisas sobre esses temas é fundamental para mudar a mentalidade de governantes e gestores para responder às demandas das partes interessadas no negócio. Com isso, a elaboração de leis de incentivo para intensificar a circularidade de produtos proporciona o desenvolvimento sustentável das operações industriais.

O valor médio do índice de sustentabilidade de IT1 no período foi o menor entre os quatro casos investigados. Também, o resultado ambiental médio foi o pior entre as fábricas. O baixo desempenho ambiental realizado por IT1 revelou que a empresa precisa priorizar ações nessa área. A ausência de indicadores de consumo de materiais não-renováveis e renováveis, projeto de ciclo de vida, reuso, conservação do *habitat* natural, geração de efluente industrial e avaliação de fornecedores, rebaixaram o resultado da empresa. Esse achado corroborou os resultados de Oliveira Neto *et al.* (2018) que consideraram essas métricas no *framework* de ações para promover a Sustentabilidade Forte em empresas.

O monitoramento de indicadores ambientais é fundamental para o avanço sustentável de operações. O controle de fonte de matéria-prima é possível de ser realizado, como foi evidenciado nos casos de IT2 e BR2. A criação de normas e sistemas, como o IMDS, auxiliam na padronização da coleta de dados. O IMDS (*International Material Data System*) é um sistema disponível na internet para os fornecedores da cadeia automotiva registrarem as substâncias perigosas utilizadas na fabricação de seus produtos.

Além disso, os resultados dos indicadores ambientais monitorados de IT1 revelaram aumento dos consumos de energia, água e emissão de gases de efeito estufa. Esse achado denotou negligência na definição de estratégias e tomada de ação para reverter o cenário negativo. Mais especificamente no biênio 2016-2017, os resultados ambientais caíram e o ganho econômico aumentou. A compensação notada no período caracterizou a Sustentabilidade Fraca, o que restringiu o progresso do desenvolvimento sustentável da operação.

A afirmação de que a Sustentabilidade Fraca é inapropriada para o avanço sustentável também foi mencionada por Lorek e Fuchs (2013), que delinearão as deficiências de políticas pública relacionadas ao consumo. Dessa forma, o uso do modelo de avaliação de sustentabilidade pelas empresas

possibilitará aos gestores melhorar o controle de processos, com indicadores definidos e metas estabelecidas pela alta direção, que será responsável pela análise crítica dos resultados no final do período.

Diferente do cenário observado em IT1, os resultados de IT2 mostraram crescimento das três dimensões de sustentabilidade. A preocupação com questões ambientais encorajou tomada de ações que proporcionaram o desempenho ambiental de alto nível em 2018. Esse patamar foi alcançado devido a reduções de consumo de materiais não-renováveis, materiais perigosos, energia e água. Além disso, a redução de emissão de gases de efeito estufa, efluente industrial e resíduos sólidos também contribuíram para o melhor resultado no período analisado.

O uso eficiente de recursos associado à redução de poluição de ar, água e solo, notados no resultado de IT2, também foram constatações relatadas no estudo de Oliveira Neto *et al.* (2018) como diretrizes para o desenvolvimento sustentável. Com isso, ações tomadas por gestores de IT2 demonstraram alinhamento com os princípios de Sustentabilidade Forte.

Além disso, ações de IT2 no campo social proporcionaram ganhos significativos que impulsionaram o desempenho dessa dimensão. Neste sentido, sugestões de melhorias começaram a ser incentivadas e monitoradas, o que aumentou o envolvimento dos funcionários na melhoria de processos com foco em qualidade, meio ambiente e segurança ocupacional.

A prevenção de acidentes foi prioridade para IT2, o que refletiu no número de ocorrências medido no período, dois casos em cinco anos. A preservação da integridade física de pessoas também foi apontada por Oliveira Neto *et al.* (2018) como fator chave para a manufatura sustentável, que é diretriz para promover a Sustentabilidade Forte. Dessa forma, o nível alto de sustentabilidade de IT2 em 2018 demonstrou que a mudança de patamar requer avanços acentuados nas três dimensões de sustentabilidade.

A análise de desempenho das fábricas por dimensão indicou que o crescimento econômico foi superior aos ganhos ambientais e sociais nas unidades instaladas no Brasil. Essa constatação denotou o comportamento reativo das empresas com questões sociais e ambientais. Nesse sentido, as ações são direcionadas para o controle de poluentes e atendimento a requisitos, normas e legislação.



Por outro lado, as fábricas italianas demonstraram preocupação com aspectos social e ambiental. Ações com o propósito de prevenir acidentes e reclamações de clientes refletiu no resultado social de IT1, que foi superior aos econômico e ambiental. A aumento da eficiência no consumo de recursos naturais e a prevenção de poluição atmosférica foram fundamentais para destacar o desenvolvimento ambiental de IT2.

As constatações evidenciadas na investigação das quatro empresas refletiram os dados apresentados no estudo de Sikder *et al.* (2019). O levantamento realizado por Sikder *et al.* (2019), entre 1991 e 2013, revelou que o crescimento médio anual do PIB brasileiro foi 3,2%, contra 0,7% do italiano. Em contraponto, o consumo de energia renovável na Itália cresceu 6,2% ao ano, contra o resultado negativo brasileiro de -0,6%.

O desafio para os gestores é incrementar continuamente os ganhos econômicos, a preservação ambiental e o bem-estar social. O modelo de avaliação de sustentabilidade desenvolvido nesse estudo estimula a melhoria contínua por meio do monitoramento do índice de sustentabilidade, que oferece a visão geral do desempenho sustentável do negócio.

A contribuição do modelo desenvolvido para a prática em gestão de operações foi ratificada pelo depoimento dos gestores de IT1, IT2 e BR2. As imagens com o conteúdo na integrada das respostas dos gestores estão apresentadas no apêndice 2. A resposta do gestor de BR1 não estava disponível a tempo para a entrega desse trabalho.

O gestor de IT1 enfatizou que o modelo contribui para melhorar a sustentabilidade em indústria. Com base nos resultados desse estudo, o gestor de IT1 reconheceu o potencial a ser explorado e citou o exemplo do tratamento de efluente industrial para o reuso da água.

O dirigente de IT2 achou interessante o cálculo do índice de sustentabilidade, com a definição dos indicadores e a atribuição de pesos. Ainda, o dirigente de IT2 ressaltou que o modelo oferece uma ferramenta simples para medir as realizações.

O gerente de BR2 acredita que a ferramenta contribui na gestão de sustentabilidade, pois apresenta o panorama dos avanços alcançados. Além disso, o indicador auxilia a identificação de ações a serem priorizadas entre as possibilidades existentes para conquistar melhores resultados. Entretanto, o

gestor de BR2 enfatizou que, apesar de ser uma boa ferramenta, é pouco provável que o uso do indicador de sustentabilidade diminua as restrições orçamentárias para implantação de melhorias ambientais e de segurança ocupacional.

## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO

Esse trabalho de pesquisa realizou a avaliação de sustentabilidade em manufatura que incorporou o conceito de Sustentabilidade Forte na medição do desempenho de indústrias. A análise de opiniões de especialistas resultou nos pesos de indicadores econômicos, ambientais e sociais, sob a perspectiva de sustentabilidade forte. A aplicação do modelo de avaliação em empresas de manufatura mostrou que é possível inserir a Sustentabilidade Forte na gestão corporativa.

O modelo de avaliação de sustentabilidade é uma ferramenta simples, que tem como referência os métodos utilizados em gestão de operações para controle de processo. O cálculo do índice de sustentabilidade é simples de ser realizado com o auxílio de planilha eletrônica. Entretanto, a coleta de dados é complexa e requer padronização para aumentar a acuracidade dos resultados.

As investigações em empresas evidenciaram que o alcance do patamar mais elevado de sustentabilidade só foi possível com a evolução das três dimensões. O nível alto de sustentabilidade atingido por IT2 em 2018, demonstrou que investimentos em preservação ambiental e eficiência de uso de recursos naturais não inibiram o crescimento econômico da empresa. Por outro lado, a estratégia de priorização da redução de custos retornou ganho financeiro para BR2, mas prejudicou o desempenho ambiental em alguns indicadores.

Outro aspecto constatado por essa pesquisa foi que gestão de sustentabilidade em operações é realizada de forma intuitiva com base em informações dispersas de métricas individuais. Como consequência, a ausência de dados consolidados em relatórios corporativos torna difícil o entendimento da evolução sustentável para acionistas, sociedades e partes interessadas no negócio.

Nesse sentido, a contribuição prática dessa pesquisa consistiu em oferecer uma ferramenta de fácil operação, que auxilia a análise de resultados para o estabelecimento de estratégias e desdobramento de ações pela Direção. Os depoimentos coletados de gestores de empresas foco desse estudo ratifica a importância do modelo de avaliação de sustentabilidade. Além disso, a divulgação do índice de sustentabilidade em relatórios corporativos torna fácil a compreensão do progresso do negócio para as partes interessadas.

A contribuição teórica da pesquisa foi a realização de estudo quantitativo de Sustentabilidade Forte, que calculou as participações das dimensões em Sustentabilidade Forte. Outra contribuição para a literatura foi o desenvolvimento do modelo de avaliação de sustentabilidade em manufatura, com métricas ponderadas de acordo com a relevância para Sustentabilidade Forte. Ainda, o estudo de múltiplos casos que comparou fábricas de dois países mostrou prioridades distintas na tomada de ação corporativa.

A metodologia apresentada nesse estudo é apropriada para aplicação em outros setores empresariais. Entretanto, ressalta-se que os indicadores utilizados nessa pesquisa foram selecionados de modelos de avaliação de sustentabilidade em manufatura. Por este motivo, avaliação de sustentabilidade em outros setores como agricultura, geração de energia ou construção civil, requer análise de adequação dos indicadores propostos e adição de métricas específicas da área.

A dificuldade encontrada em definir os limites do sistema natural em termos de fornecimento de recursos e absorção de poluição, foi restrição para a avaliação do desempenho de sustentabilidade em termos absolutos. Portanto, essa pesquisa sugere a realização de investigações quantitativas para incrementar o conhecimento acerca da capacidade de carregamento do ecossistema.

Também, o levantamento dos indicadores de sustentabilidade sugere a pesquisas futuras a elaboração de metodologia para padronizar a coleta e registro das métricas econômicas, ambientais e sociais, o que aumentará a qualidade e confiabilidade da informação reportada. Ainda, a avaliação de sustentabilidade em outros estudos de casos contribuirá na disseminação da Sustentabilidade Forte em organizações.

## REFERÊNCIAS

- ABDUL-WAHAB, S.A., AL-RAWAS, G.A., ALI, S., AL-DHAMRI, H. Impact of the addition of oil-based mud on carbon dioxide emissions in a cement plant. **Journal of Cleaner Production**, 112, 4214-4225, 2016.
- ACCORSI, R., CASCINI, A., CHOLETTE, S., MANZINI, R., MORA, C. Economic and environmental assessment of reusable plastic containers: A food catering supply chain case study. **Int. J. Production Economics**, 152, 88-101, 2014.
- ACEA, 2018. The automobile industry pocket guide 2018/2019. **European Automobile Manufacturers Association**.
- AGRAWAL, S., SINGH, R.K., MURTAZA, Q. Outsourcing decisions in reverse logistics: Sustainable balanced scorecard and graph theoretic approach. **Resources, Conservation and Recycling**, 108, 41-53, 2016
- AHMADI, H.B., KUSI-SARPONG, S., REZAEI, J. Assessing the social sustainability of supply chains using Best Worst Method. **Resources, Conservation & Recycling**, 126, 99-106, 2017.
- AJUKUMAR, V.N., GANDHI, O.P. Evaluation of green maintenance initiatives in design and development of mechanical systems using an integrated approach. **Journal of Cleaner Production**, 51, 34-46, 2013.
- AKBAR, M., IROHARA, T. Scheduling for sustainable manufacturing: A review. **Journal of Cleaner Production**, 205, 866-883, 2018.
- ALKAYA, E., DEMIRER, G.N. Reducing water and energy consumption in chemical industry by sustainable production approach: a pilot study for polyethylene terephthalate production. **Journal of Cleaner Production**, 99, 119-128, 2015.
- ALSHAMRANI, O.S., GALAL, K., ALKASS, S. Integrated LCA-LEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings. **Building and Environment**, 80, 61-70, 2014
- ALVARENGA, J.M., FIDELES, R.A., SILVA, M.V., MURARI, G.F., TAYLOR, J.G., LEMOS, L.R., RODRIGUES, G.D., MAGESTE, A.B. Partition study of textile dye Remazol Yellow Gold RNL in aqueous two-phase systems. **Fluid Phase Equilibria**, 391, 1-8, 2015.
- ANFAVEA. Brazilian automotive industry yearbook. São Paulo: ANFAVEA - Brazilian Automotive Industry Association, 2018.
- ANFIA. Italian Association of the Automotive Industry. Disponível em: [https://www.anfia.it/allegati\\_contenuti/DOC/136\\_PRESENTAZIONE\\_ANFIA\\_DEF1\\_DIVULGABILE.PDF](https://www.anfia.it/allegati_contenuti/DOC/136_PRESENTAZIONE_ANFIA_DEF1_DIVULGABILE.PDF). Acesso em 25 de abril de 2019.
- ANGELES-MARTINEZ, L., THEODOROPOULOS, C., LOPEZ-QUIROGA, E., FRYER, P.J., BAKALIS, S. The Honeycomb model: A platform for systematic analysis of different manufacturing scenarios for fast-moving consumer goods. **Journal of Cleaner Production**, 193, 315-326, 2018.
- ARABSHEYBANI, A., PAYDAR, M.M., SAFAEI, A.S. An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk. **Journal of Cleaner Production**, 190, 577-591, 2018.
- ARENA, M., AZZONE, G., CONTE, A. A streamlined LCA framework to support early decision making in vehicle development. **Journal of Cleaner Production**, 41, 105-113, 2013.
- ATANDA, J.O. Developing a social sustainability assessment framework. **Sustainable Cities and Society**, 44, 237-252, 2019.
- BABAIZADEH, H., HASSAN, M. Life cycle assessment of nano-sized titanium dioxide coating on residential windows. **Construction and Building Materials**, 40, 314-321, 2013.

- BAI, C., SARKIS, J. Improving green flexibility through advanced manufacturing technology investment: Modeling the decision process. **Int. J. Production Economics**, 188, 86-104, 2017.
- BALDWIN, J.S., ALLEN, P.M., WINDER, B., RIDGWAY, K. Modelling manufacturing evolution: thoughts on sustainable industrial development. **Journal of Cleaner Production**, 13, 887-902, 2005.
- BALOGUN, V.A., MATIVENGA, P.T. Impact of un-deformed chip thickness on specific energy in mechanical machining processes. **Journal of Cleaner Production**, 69, 260-268, 2014.
- BALOGUN, V.A., MATIVENGA, P.T. Modelling of direct energy requirements in mechanical machining processes. **Journal of Cleaner Production**, 41, 179-186, 2013.
- BARDIN, L. **El análisis de contenido**. Madrid: Ediciones Akal, 1986.
- BARRETT JR., W.M., VAN BATEN, J., MARTIN, T. Implementation of the waste reduction (WAR) algorithm utilizing flowsheet monitoring. **Computers and Chemical Engineering**, 35, 2680-2686, 2011.
- BASSETTO, S., SIADAT, A., TOLLENAERE, M. The management of process control deployment using interactions in risks analyses. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 24, 458-465, 2011.
- BAUMGÄRTNER, S., QUAAS, M.F. Ecological-economic viability as a criterion of strong sustainability under uncertainty. **Ecological Economics**, 68, 2008-2020, 2009.
- BEDNYAGIN, D., GNANSOUNOU, E. Estimating spillover benefits of large R&D projects: Application of real options modelling approach to the case of thermonuclear fusion R&D programme. **Energy Policy**, 41, 269-279, 2012.
- BEEKAROO, D., CALLYCHURN, D.S., HURREERAM, D.K. Developing a sustainability index for Mauritian manufacturing companies. **Ecological Indicators**, 96, 250-257, 2019.
- BELL, J. **Doing your Research Project**. Buckingham: Open University Press. 4th ed, 2005.
- BHANOT, N., RAO, P.V., DESHMUKH, S.G. An integrated approach for analysing the enablers and barriers of sustainable manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, 142, 4412-4439, 2017.
- BISHOP, J.D.K., AMARATUNGA, G.A.J., RODRIGUEZ, C. Linking energy policy, electricity generation and transmission using strong sustainability and co-optimization. **Electric Power Systems Research**, 80, 633-641, 2010.
- BJØRN, A., RØPKE, I. What does it really mean to be a strongly sustainable company? A response to Nikolaou and Tsalis. **Journal of Cleaner Production**, 198, 208-214, 2018.
- BOLAR, A.A., TESFAMARIAM, S., SADIQ, R. Framework for prioritizing infrastructure user expectations using Quality Function Deployment (QFD). **International Journal of Sustainable Built Environment**, 6, 16-29, 2017.
- BORGERT, T., DONOVAN, J.D., TOPPLE, C., MASLI, E.K. Initiating sustainability assessments: Insights from practice on a procedural perspective. **Environmental Impact Assessment Review**, 72, 99-107, 2018.
- BÖTTCHER, C., MÜLLER, M. Insights on the impact of energy management systems on carbon and corporate performance. An empirical analysis with data from German automotive suppliers. **Journal of Cleaner Production**, 137, 1449-1457, 2016.
- BROUILLET, F., BATAILLE, B., CARTILIER, L. High-amylose sodium carboxymethyl starch matrices for oral, sustained drug-release: Formulation aspects and in vitro drug-release evaluation. **International Journal of Pharmaceutics**, 356, 52-60, 2008.
- BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Uniwin Hyman, 1989.
- BRYMAN, A., BELL, E. **Business research methods**. Oxford: Oxford University Press, 2nd ed., 2007.
- BUI, Q.B., LIMAM, A., BUI, T.T. Dynamic discrete element modelling for seismic assessment of rammed earth walls. **Engineering Structures**, 175, 690-699, 2018.

- BÜYÜKOZKAN, G., KARABULUT, Y. Sustainability performance evaluation: Literature review and future directions. **Journal of Environmental Management**, 217, 253-267, 2018.
- CAGIAO, J., GÓMEZ, B., DOMÉNECH, J.L., MAINAR, S.G., LANZA, H.G. Calculation of the corporate carbon footprint of the cement industry by the application of MC3 methodology. **Ecological Indicators**, 11, 1526-1540, 2011.
- CAI, T., WANG, S., XU, Q. Monte Carlo optimization for site selection of new chemical plants. **Journal of Environmental Management**, 163, 28-38, 2015.
- CALDERA, H.T.S., DESHA, C., DAWES, L. Exploring the characteristics of sustainable business practice in small and medium-sized enterprises: Experiences from the Australian manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, 177, 338-349, 2018.
- CALDERA, H.T.S., DESHA, C., DAWES, L. Exploring the role of lean thinking in sustainable business practice: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, 167, 1546-1565, 2017.
- CARRASCO, L.M., NARVARTE, L., MARTÍNEZ-MORENO, F., MORETÓN, R. In-field assessment of batteries and PV modules in a large photovoltaic rural electrification programme. **Energy**, 75, 281-288, 2014.
- CHANCHETTI, L.F., DIAZ, S.M.O., MILANEZ, D.H., LEIVA, D.R., FARIA, L.I.L., ISHIKAWA, T.T. Technological forecasting of hydrogen storage materials using patent indicators. **Hydrogen energy**, 41, 18301-18310, 2016.
- CHANG, A.Y., CHENG, Y.T. Analysis model of the sustainability development of manufacturing small and medium- sized enterprises in Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, 207, 458-473, 2019.
- CHATZISIDERIS, M.D., LAURENT, A., CHRISTOFORIDIS, G.C., KREBS, F.C. Cost-competitiveness of organic photovoltaics for electricity self-consumption at residential buildings: A comparative study of Denmark and Greece under real market conditions. **Applied Energy**, 208, 471-479, 2017.
- CHEN, L., OLHAGER, J., TANG, O. Manufacturing facility location and sustainability: A literature review and research agenda. **Int. J. Production Economics**, 149, 154-163, 2014.
- CHEN, Z., HUANG, Z., NIE, P. Industrial characteristics and consumption efficiency from a nexus perspective – Based on Anhui's Empirical Statistics. **Energy Policy**, 115, 281-290, 2018.
- CHIEN, C.F., PENG, J.T., YU, H.C. Building energy saving performance indices for cleaner semiconductor manufacturing and an empirical study. **Computers & Industrial Engineering**, 99, 448-457, 2016.
- CINELLI, M., COLES, S.R., KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**, 46, 138-148, 2014.
- COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. Ed.2. New York: Psychology Press, 1988
- COPPOLA, L., COFFETTI, D., CROTTI, E., PASTORE, T. CSA-based Portland-free binders to manufacture sustainable concretes for jointless slabs on ground. **Construction and Building Materials**, 187, 691-698, 2018.
- COSS, S., REBILLARD, C., VERDA, V., LE CORRE, O. Sustainability assessment of energy services using complex multilayer system models. **Journal of Cleaner Production**, 142, 23-38, 2017.
- CRAIGHILL, A.L., POWELL, J.C. Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study. **Resources, Conservation and Recycling**, 17, 75-96, 1996.
- CULABA, A.B., PURVIS, M.R.I. A methodology for the life cycle and sustainability analysis of manufacturing processes. **Journal of Cleaner Production**, 7, 435-445, 1999.
- DALY, H.E. **Ecological Economics and Sustainable Development, Selected Essays of Herman Daly**. Edward Elgar. Cheltenham, UK, 2007.

- DEDE, G., KAMALAKIS, T., SPHICOPOULOS, T. Theoretical estimation of the probability of weight rank reversal in pairwise comparisons. **European Journal of Operational Research**, 252(2), 587-600, 2016.
- DE SOETE, W., BOONE, L., WILLEMSE, F., DE MEYER, E., HEIRMAN, B., VAN LANGENHOVE, H., DEWULF, J. Environmental resource footprinting of drug manufacturing: Effects of scale-up and tablet dosage. **Resources, Conservation and Recycling**, 91, 82-88, 2014.
- DEKAMIN, M., BARMAKI, M., KANOONI, A. Selecting the best environmental friendly oilseed crop by using Life Cycle Assessment, water footprint and analytic hierarchy process methods. **Journal of Cleaner Production**, 198, 1239-1250, 2018.
- DESIDERI, U., PROIETTI, S., ZEPPARELLI, F., SDRINGOLA, P., BINI, S. Life Cycle Assessment of a ground-mounted 1778 kWp photovoltaic plant and comparison with traditional energy production systems. **Applied Energy**, 97, 930-943, 2012.
- DIERICKX, L., SAERENS, L., ALMEIDA, A., DE BEER, T., REMON, J.P., VERVAET, C. Co-extrusion as manufacturing technique for fixed-dose combination mini-matrices. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, 81, 683-689, 2012.
- DIETZ, S., NEUMAYER, E. Weak and strong sustainability in the SEEA: Concepts and measurement. **Ecological Economics**, 61, 617-626, 2007.
- DONG, H., GENG, Y., XI, F., FUJITA, T. Carbon footprint evaluation at industrial park level: A hybrid life cycle assessment approach. **Energy Policy**, 57, 298-307, 2013.
- DUBEY, V.K., CHAVAS, J.P., VEERAMANI, D. Analytical framework for sustainable supply-chain contract management. **International Journal of Production Economics**, 200, 240-261, 2018.
- DUNUWILA, P., RODRIGO, V.H.L., GOTO, N. Sustainability of natural rubber processing can be improved: A case study with crepe rubber manufacturing in Sri Lanka. **Resources, Conservation & Recycling**, 133, 417-427, 2018.
- EARLE, M., DE PORTU, G., DEVOS, E. Agar ultrasound phantoms for low-cost training without refrigeration African. **Journal of Emergency Medicine**, 6, 18-23, 2016.
- EASTERBY-SMITH, M., THORPE, R., JACKSON, P., LOWE, A. **Management Research** London: London Sage. 4th ed., 2012.
- EASTWOOD, M.D., HAAPALA, K.R. A unit process model based methodology to assist product sustainability assessment during design for manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, 108, 54-64, 2015.
- EGILMEZ, G., KUCUKVAR, M., TATARI, O. Sustainability assessment of U.S. manufacturing sectors: an economic input output-based frontier approach. **Journal of Cleaner Production**, 53, 91-102, 2013.
- EGILMEZ, G., KUCUKVAR, M., TATARI, O., BHUTTA, M.K.S. Supply chain sustainability assessment of the U.S. food manufacturing sectors: A life cycle-based frontier approach. **Resources, Conservation and Recycling**, 82, 8-20, 2014.
- EKINS, P., SIMON, S., DEUTSCH, L., FOLKE, C., DE GROOT, R. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. **Ecological Economics**, 44, 165-185, 2003.
- EL-FADEL, M., ZEINATI, M., EL-JISR, K., JAMALI, D. Industrial-waste management in developing countries: The case of Lebanon. **Journal of Environmental Management**, 61, 281-300, 2001.
- ELKINGTON, J. **CANNIBALS with FORKS: the Triple Bottom Line of 21st Century Business**. London: Capstone Publishing Limited, 1997
- ERDIL, N.O., AKTAS, C.B., ARANI, O.M. Embedding sustainability in lean six sigma efforts. **Journal of Cleaner Production**, 198, 520-529, 2018.
- EVERAERT, A., WOUTERS, Y., MELSBACH, E., ZAKARIA, N., LUDWIG, A., KIEKENS, F., WEYENBERG, W. Optimisation of HPMC ophthalmic inserts with sustained release



- properties as a carrier for thermolabile therapeutics. **International Journal of Pharmaceutics**, 528, 395-405, 2017.
- FALLAHOUPUR, A., OLUGU, E.U., MUSA, S.N., WONG, K.Y., NOORI, S. A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management. **Computers & Industrial Engineering**, 105, 391-410, 2017.
- FALSAFI, J., DEMIRCI, E., SILBERSCHMIDT, V.V. Computational assessment of residual formability in sheet metal forming processes for sustainable recycling. **International Journal of Mechanical Sciences**, 119, 187-196, 2016.
- FAVI, C., GERMANI, M., MARCONI, M., MENGONI, M. Innovative software platform for eco-design of efficient electric motors. **Journal of Cleaner Production**, 37, 125-134, 2012.
- FOO, P.Y., LEE, V.H., TAN, G.W.H., OOI, K.B. A gateway to realising sustainability performance via green supply chain management practices: A PLS-ANN approach. **Expert Systems With Applications**, 107, 1-14, 2018.
- FORTIER, M.P., TERON, L., REAMES, T.G., MUNARDY, D.T., SULLIVAN, B.M. Introduction to evaluating energy justice across the life cycle: A social life cycle assessment approach. **Applied Energy**, 236, 211-219, 2019.
- FORZA, C. Survey research in operation management: a process-based perspective. **International Journal of Operation & Production Management**, 22, 152-194, 2002.
- GALÁN-MARÍN, C., RIVERA-GÓMEZ, C., GRACÍA-MARTÍNEZ, A. Embodied energy of conventional load-bearing walls versus natural stabilized earth blocks. **Energy and Buildings**, 97, 146-154, 2015.
- GALLAGHER, P.M., SPATARI, S., CUCURA, J. Hybrid life cycle assessment comparison of colloidal silica and cement grouted soil barrier remediation technologies. **Journal of Hazardous Materials**, 250, 421-430, 2013.
- GANDHI, S., MANGLA, S.K., KUMAR, P., KUMAR, D. Evaluating factors in implementation of successful green supply chain management using DEMATEL: A case study. **International strategic management**, 3, 96-109, 2015.
- GARCIA, S., CINTRA, Y., TORRES, R.C.S.R., LIMA, F.G. Corporate Sustainability management: a proposed multi-criteria model to support balanced decision-making. **Journal of Cleaner Production**, 136, 181-196, 2016.
- GARG, A., LAM, J.S.L. Modeling multiple-response environmental and manufacturing characteristics of EDM process. **Journal of Cleaner Production**, 137, 1588-1601, 2016.
- GARMENDIA, E., PRELLEZO, R., MURILLAS, A., ESCAPA, M., GALLASTEGUI, M. Weak and strong sustainability assessment in fisheries. **Ecological Economics**, 70, 96-106, 2010.
- GARRETSON, I.C., MANI, M., LEONG, S., LYONS, K.W., HAAPALA, K.R. Terminology to support manufacturing process characterization and assessment for sustainable production. **Journal of Cleaner Production**, 139, 986-1000, 2016.
- GBEDEDU, M.A., LIYANAGE, K., GARZA-REYES, J.A. Towards a Life Cycle Sustainability Analysis: A systematic review of approaches to sustainable manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, 184, 1002-1015, 2018.
- GHADIMI, P., AZADNIA, A.H., YUSOF, N.M., SAMAN, M.Z.M. A weighted fuzzy approach for product sustainability assessment: a case study in automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, 33, 10-21, 2012.
- GHADIMI, P., DARGI, A., HEAVEY, C. Sustainable supplier performance scoring using audition check-list based fuzzy inference system: A case application in automotive spare part industry. **Computers & Industrial Engineering**, 105, 12-27, 2017.
- GHADIMI, P., TOOSI, F.G., HEAVEY, C. A multi-agent systems approach for sustainable supplier selection and order allocation in a partnership supply chain. **European Journal of Operational Research**, 269, 286-301, 2018.

- GIANNETTI, B.F., AGOSTINHO, F., ALMEIDA, C.M.V.B., HUISINGH, D. A review of limitations of GDP and alternative indices to monitor human wellbeing and to manage eco-system functionality. **Journal of Cleaner Production**, 87, 11-25, 2015.
- GONZÁLEZ-MEJÍA, A.M., MA, X. The Emergy Perspective of Sustainable Trends in Puerto Rico from 1960 to 2013. **Ecological Economics**, 133, 11-22, 2017.
- GOODFIELD, D., ANDA, M., HO, G. Carbon neutral mine site villages: Myth or reality? **Renewable Energy**, 66, 62-68, 2014.
- GOOLE, J., VANDERBIST, F., AMIGHI, K. Development and evaluation of new multiple-unit levodopa sustained-release floating dosage forms. **International Journal of Pharmaceutics**, 334, 35-41, 2007.
- GUIMARÃES, J.C.F., SEVERO, E.A., VASCONCELOS, C.R.M. The influence of entrepreneurial, market, knowledge management orientations on cleaner production and the sustainable competitive advantage. **Journal of Cleaner Production**, 174, 1653-1663, 2018.
- GUPTA, H. Assessing organizations performance on the basis of GHM practices using BWM and Fuzzy TOPSIS. **Journal of Environmental Management**, 226, 201-216, 2018.
- HAHN, R., KUHNEN, M. Determinants of sustainability reporting: a review of results, trends, theory, and opportunities in an expanding field of research. **Journal of Cleaner Production**, 59, 5-21, 2013.
- HAMOUDI, M.C., BOURASSET, F., DOMERGUE-DUPONT, V., GUEUTIN, C., NICOLAS, V., FATTAL, E., BOCHOT, A. Formulations based on alpha cyclodextrin and soybean oil: an approach to modulate the oral release of lipophilic drugs. **Journal of Controlled Release**, 161, 861-867, 2012.
- HARO, J.C., IZARRA, I., RODRÍGUEZ, J.F., PÉREZ, A., CARMONA, M. Modelling the epoxidation reaction of grape seed oil by peracetic acid. **Journal of Cleaner Production**, 138, 70-76, 2016.
- HE, B., PAN, Q., DENG, Z. Product carbon footprint for product life cycle under uncertainty. **Journal of Cleaner Production**, 187, 459-472, 2018.
- HE, Z., WANG, Z., TSUNG, F., SHANG, Y. A control scheme for autocorrelated bivariate binomial data. **Computers & Industrial Engineering**, 98, 350-359, 2016.
- HEGAB, H.A., DARRAS, B., KISHAWY, H.A. Towards sustainability assessment of machining processes. **Journal of Cleaner Production**, 170, 694-703, 2018.
- HELLENO, A.L., MORAES, A.J.I., SIMON, A.T. Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry. **Journal of Cleaner Production**, 153, 405-416, 2017.
- HILSDORF, W.C., MATTOS, C.A., MACIEL, L.O.C. Principles of sustainability and practices in the heavy-duty vehicle industry: A study of multiple cases. **Journal of Cleaner Production**, 141, 1231-1239, 2017.
- HOFFMAN, L.A., NGO, T.T. Affordable solar thermal water heating solution for rural Dominican Republic. **Renewable Energy**, 115, 1220-1230, 2018.
- HOLMSTRÖM, J., LIOTTA, G., CHAUDHURI, A. Sustainability outcomes through direct digital manufacturing-based operational practices: A design theory approach. **Journal of Cleaner Production**, 167, 951-961, 2017.
- HOSUR, M.V., KARIM, M.R., JEELANI, S. Experimental investigations on the response of stitched/unstitched woven S2-glass/SC15 epoxy composites under single and repeated low velocity impact loading. **Composite Structures**, 61, 89-102, 2003.
- HUEDO, P., MULET, E., LÓPEZ-MESA, B. A model for the sustainable selection of building envelope assemblies. **Environmental Impact Assessment Review**, 57, 63-77, 2016.
- IBÁÑEZ-FORÉS, V., BOVEA, M.D., AZAPAGIC, A. Assessing the sustainability of Best Available Techniques (BAT): methodology and application in the ceramic tiles industry. **Journal of Cleaner Production**, 51, 162-176, 2013.

- INGRAO, C., TRICASE, C., CHOLEWA-WÓJCIK, A., KAWECKA, A., RANA, R., SIRACUSA, V. Polylactic acid trays for fresh-food packaging: A Carbon Footprint assessment. **Science of the Total Environment**, 537, 385-398, 2015.
- IZURIETA, H.S., ZUBER, P., BONHOEFFER, J., CHEN, R.T., SANKOHG, O., LASERSON, K.F., STURKENBOOM, M., LOUCQ, C., WEIBEL, D., DODD, C., BLACK, S. Roadmap for the international collaborative epidemiologic monitoring of safety and effectiveness of new high priority vaccines. **Vaccine**, 31, 3623-3627, 2013.
- JAEHN, F. Sustainable Operations. **European Journal of Operational Research**, 253, 243-264, 2016.
- JAKHAR, S.K. Performance evaluation and a flow allocation decision model for a sustainable supply chain of an apparel industry. **Journal of Cleaner Production**, 87, 391-413, 2015.
- JANEIRO, L., PATEL, M.K. Choosing sustainable technologies. Implications of the underlying sustainability paradigm in the decision-making process. **Journal of Cleaner Production**, 105, 438-446, 2015.
- JASINSKI, D., MEREDITH, J., KIRWAN, K. A comprehensive framework for automotive sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, 135, 1034-1044, 2016.
- JAVADZADEH, Y., ADIBKIA, K., BOZORGMEHR, Z., DASTMALCHI, S. Evaluating retardation and physicochemical properties of co-ground mixture of Na- diclofenac with magnesium stearate. **Powder Technology**, 218, 51-56, 2012.
- JAVID, R.J., NEJAT, A. A comprehensive model of regional electric vehicle adoption and penetration. **Transport Policy**, 54, 30-42, 2017.
- JEONG, S.H., PARK, K. Development of sustained release fast-disintegrating tablets using various polymer-coated ion-exchange resin complexes. **International Journal of Pharmaceutics**, 353, 195-204, 2008.
- JIA, S., YUAN, Q., CAI, W., LI, M., LI, Z. Energy modeling method of machine-operator system for sustainable machining. **Energy Conversion and Management**, 172, 265-276, 2018.
- JIANG, Q., LIU, Z., LIU, W., LI, T., CONG, W., ZHANG, H., SHI, J. A principal component analysis based three-dimensional sustainability assessment model to evaluate corporate sustainable performance. **Journal of Cleaner Production**, 187, 625-637, 2018.
- JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, C., WOODLEY, J.M. Bioprocesses: Modeling needs for process evaluation and sustainability assessment. **Computers and Chemical Engineering**, 34, 1009-1017, 2010.
- JIN, R., GAO, S., CHESHMEHZANGI, A., ABOAGYE-NIMO, E. A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018. **Journal of Cleaner Production**, 202, 1202-1219, 2018.
- JO, B.W., CHAKRABORTY, S., JO, J.H. Effectiveness of a hydrothermally produced alternative cementitious material on the physical and mechanical performance of concrete. **Journal of Cleaner Production**, 142, 3269-3280, 2017.
- JOGLEKAR, S.N., KHAKAR, R.A., MANDAVGANE, S.A., KULKARNI, B.D. Sustainability assessment of brick work for low-cost housing: A comparison between waste based bricks and burnt clay bricks. **Sustainable Cities and Society**, 37, 396-406, 2018.
- JOKAR, Z., MOKHTAR, A. Policy making in the cement industry for CO<sub>2</sub> mitigation on the pathway of sustainable development- A system dynamics approach. **Journal of Cleaner Production**, 201, 142-155, 2018.
- JONKUTE, G., STANISKIS, J.K. Realising sustainable consumption and production in companies: the SUsustainable and RESponsible COMpany (SURESCOM) model. **Journal of Cleaner Production**, 138, 170-180, 2016.
- JOUNG, C.B., CARRELL, J., SARKAR, P., FENG, S.C. Categorization of indicators for sustainable manufacturing. **Ecological Indicators**, 24, 148-157, 2013.

- KADAM, G.S., PAWADE, R.S. Surface integrity and sustainability assessment in high-speed machining of Inconel 718 - An eco-friendly green approach. **Journal of Cleaner Production**, 147, 273-283, 2017.
- KANG, Y., XIE, B., WANG, J., WANG, Y. Environmental assessment and investment strategy for China's manufacturing industry: A non-radial DEA based analysis. **Journal of Cleaner Production**, 175, 501-511, 2018.
- KHAN, S.A., KUSI-SARPONG, S., ARHIN, F.K., KUSI-SARPONG, H. Supplier sustainability performance evaluation and selection: A framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, 205, 964-979, 2018.
- KHOO, H.H., WONG, L.L., TAN, J., ISONI, V., SHARRATT, P. Synthesis of 2-methyl tetrahydrofuran from various lignocellulosic feedstocks: Sustainability assessment via LCA. **Resources, Conservation and Recycling**, 95, 174-182, 2015.
- KIM, K.H., JEON, B.J., JUNG, H.S., LU, W., JONES, J. Effective employment brand equity through sustainable competitive advantage, marketing strategy, and corporate image. **Journal of Business Research**, 64, 1207-1211, 2011.
- KIM, S., MOON, S.K. Sustainable platform identification for product family design. **Journal of Cleaner Production**, 143, 567-581, 2017.
- KOENNINGS, S., SAPIN, A., BLUNK, T., MENEI, P., GOEPFERICH, A. Towards controlled release of BDNF — Manufacturing strategies for protein-loaded lipid implants and biocompatibility evaluation in the brain. **Journal of Controlled Release**, 119, 163-172, 2007.
- KRAJNC, D., GLAVIC, P. A model for integrated assessment of sustainable development. **Resources, Conservation & Recycling**, 43, 189-208, 2005.
- KUCUKVAR, M., CANSEV, B., EGILMEZ, G., ONAT, N.C., SAMADI, H. Energy-climate-manufacturing nexus: New insights from the regional and global supply chains of manufacturing industries. **Applied Energy**, 184, 889-904, 2016.
- KUCUKVAR, M., EGILMEZ, G., TATARI, O. Sustainability assessment of U.S. final consumption and investments: triple-bottom-line input-output analysis. **Journal of Cleaner Production**, 81, 234-243, 2014.
- KUNANUNTAKIJ, K., VARABUNTOONVIT, V., VORAYOS, N., PANJAPORNPON, C., MUNGCHAROEN, T. Thailand Green GDP assessment based on environmentally extended input-output model. **Journal of Cleaner Production**, 167, 970-977, 2017.
- KWAG, S., LEE, J.M., OH, J., RYU, J.S. Development of system design and seismic performance evaluation for reactor pool working platform of a research reactor. **Nuclear Engineering and Design**, 266, 199-213, 2014.
- LABUSCHAGNE, C., BRENT, A.C. An industry perspective of the completeness and relevance of a social assessment framework for project and technology management in the manufacturing sector. **Journal of Cleaner Production**, 16, 253-262, 2008.
- LEE, J.Y., KANG, H.S., NOH, S.D. MAS2: an integrated modeling and simulation-based life cycle evaluation approach for sustainable manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, 66, 146-163, 2014.
- LEE, J.Y., LEE, Y.T. A framework for a research inventory of sustainability assessment in manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, 79, 207-218, 2014.
- LI, L., GE, Y. System-level cost evaluation for economic viability of cellulosic biofuel manufacturing. **Applied Energy**, 203, 711-722, 2017.
- LI, L., YAN, J., XING, Z. Energy requirements evaluation of milling machines based on thermal equilibrium and empirical modelling. **Journal of Cleaner Production**, 52, 113-121, 2013.
- LIANG, L., LAL, R., RIDOUTT, B.G., DU, Z., WANG, D., WANG, L., WU, W., ZHAO, G. Life Cycle Assessment of China's agroecosystems. **Ecological Indicators**, 88, 341-350, 2018.

- LIN, J., HU, Y., ZHAO, X., SHI, L., KANG, J. Developing a city-centric global multiregional input-output model (CCG-MRIO) to evaluate urban carbon footprints. **Energy Policy**, 108, 460-466, 2017.
- LIN, Y. Using QFD and ANP to analyze the environmental production requirements in linguistic preferences. **Expert Systems with Applications**, 37, 2186-2196, 2010.
- LIU, C., CAI, W., JIA, S., ZHANG, M., GUO, H., HU, L., JIANG, Z. Emergy-based evaluation and improvement for sustainable manufacturing systems considering resource efficiency and environment performance. **Energy Conversion and Management**, 177, 176-189, 2018.
- LIU, H., LI, J., LONG, H., LI, Z., LE, C. Promoting energy and environmental efficiency within a positive feedback loop: Insights from global value chain. **Energy Policy**, 121, 175-184, 2018.
- LIU, J.J., LI, Z.T., CHEN, Q.X., MAO, N. Controlling delivery and energy performance of parallel batch processors in dynamic mould manufacturing. **Computers & Operations Research**, 66, 116-129, 2016.
- LOREK, S., FUCHS, D. Strong sustainable consumption governance e precondition for a degrowth path? **Journal of Cleaner Production**, 38, 36-43, 2013.
- LU, C., GAO, L., LI, X., PAN, Q., WANG, Q. Energy-efficient permutation flow shop scheduling problem using a hybrid multi-objective backtracking search algorithm. **Journal of Cleaner Production**, 144, 228-238, 2017.
- MA, J., HARSTVEDT, J.D., DUNAWAY, D., BIAN, L., JARADAT, R. An exploratory investigation of Additively Manufactured Product life cycle sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, 192, 55-70, 2018.
- MA, X., JI, P., HO, W., YANG, C. Optimal procurement decision with a carbon tax for the manufacturing industry. **Computers and Operations Research**, 89, 360-368, 2018.
- MAACK, M., DAVIDSDOTTIR, B. Five capital impact assessment: Appraisal framework based on theory of sustainable well-being. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 50, 1338-1351, 2015.
- MAAS, K., SCHALTEGGER, S., CRUTZEN, N. Advancing the integration of corporate sustainability measurement, management and reporting. **Journal of Cleaner Production**, 133, 859-862, 2016.
- MACHADO, C.G., LIMA, E.P., COSTA, S.E.G., ANGELIS, J.J., MATTIODA, R.A. Framing maturity based on sustainable operations management principles. **Int. J. Production Economics**, 190, 3-21, 2017.
- MANGLA, S.K., GOVINDAN, K., LUTHRA, S. Critical success factors for reverse logistics in Indian industries: a structural model. **Journal of Cleaner Production**, 129, 608-621, 2016.
- MANSCHADI, A.M., KAUL, H., VOLLMANN, J., EITZINGER, J., WENZEL, W. Reprint of "Developing phosphorus-efficient crop varieties - An interdisciplinary research framework". **Field Crops Research**, 165, 49-60, 2014.
- MANSCHADI, A.M., KAUL, H.P., VOLLMANN, J., EITZINGER, J., WENZEL, W. Developing phosphorus-efficient crop varieties - An interdisciplinary research framework. **Field Crops Research**, 162, 87-98, 2014.
- MARCILIO, G.P., RANGEL, J.J.A., SOUZA, C.L.M., SHIMODA, E., SILVA, F.F., PEIXOTO, T.A. Analysis of greenhouse gas emissions in the road freight transportation using simulation. **Journal of Cleaner Production**, 170, 298-309, 2018.
- MARKSBERRY, P.W., JAWAHIR, I.S. A comprehensive tool-wear/tool-life performance model in the evaluation of NDM (near dry machining) for sustainable manufacturing. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 48, 878-886, 2008.
- MARTÍNEZ, C.I.P., PIÑA, W.H.A. Regional analysis across Colombian departments: a non-parametric study of energy use. **Journal of Cleaner Production**, 115, 130-138, 2016.
- MARTÍN-GAMBOA, M., IRIBARREN, D., GARCÍA-GUSANO, D., DUFOUR, J. A review of life-cycle approaches coupled with data envelopment analysis within multi-criteria decision

- analysis for sustainability assessment of energy systems. **Journal of Cleaner Production**, 150, 164-174, 2017.
- MARTINS, N.O. Ecosystems, strong sustainability and the classical circular economy. **Ecological Economics**, 129, 32-39, 2016.
- MASRI, H.A., JAARON, A.A.M. Assessing green human resources management practices in Palestinian manufacturing context: An empirical study. **Journal of Cleaner Production**, 143, 474-489, 2017.
- MATH, S., SARKAR, B. Performance evaluation of advanced manufacturing technologies: A De novo approach. **Computers & Industrial Engineering**, 110, 364-378, 2017.
- MATHIVATHANAN, D., KANNAN, D., NOORUL HAQ, A. Sustainable supply chain management practices in Indian automotive industry: A multi-stakeholder view. **Resources, Conservation and Recycling**, 128, 284-305, 2018.
- MCDONNELL, P., HARRISON, N., MCHUGH, P.E. Investigation of the failure behaviour of vertebral trabecular architectures under uni-axial compression and wedge action loading conditions. **Medical Engineering & Physics**, 32, 569-576, 2010.
- MEEUS, J., SCURR, D.J., APPELTANS, B., AMSSOMS, K., ANNAERT, P., DAVIES, M.C., ROBERTS, C.J., VAN DEN MOOTER, G. Influence of formulation composition and process on the characteristics and in vitro release from PLGA-based sustained release injectables. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, 90, 22-29, 2015.
- MEHMETI, A., ANGELIS-DIMAKIS, A., MUÑOZ, C.B., GRAZIADIO, M., MCPHAIL, S.J. Eco-thermodynamics of hydrogen production by high-temperature electrolysis using solid oxide cells. **Journal of Cleaner Production**, 199, 723-736, 2018.
- MEHMETI, A., PÉREZ-TRUJILLO, J.P., ELIZALDE-BLANCAS, F., ANGELIS-DIMAKIS, A., MCPHAIL, S.J. Exergetic, environmental and economic sustainability assessment of stationary Molten Carbonate Fuel Cells. **Energy Conversion and Management**, 168, 276-287, 2018.
- MEHRSAI, A., KARIMI, H.R., THOBEN, K.D., SCHOLZ-REITER, B. Application of learning pallets for real-time scheduling by the use of radial basis function network. **Neurocomputing**, 101, 82-93, 2013.
- MENDONZA, J.M.F., D'APONTE, F., GUALTIERI, D., AZAPAGIC, A. Disposable baby diapers: Life cycle costs, eco-efficiency and circular economy. **Journal of Cleaner Production**, 211, 455-467, 2019.
- MENG, F., LIU, G., YANG, Z., CASAZZA, M., CUI, S., ULGIATI, S. Energy efficiency of urban transportation system in Xiamen, China. An integrated approach. **Applied Energy**, 186, 234-248, 2017.
- MIAH, J.H., GRIFFITHS, A., MSNEILL, R., POONAJI, I., MARTIN, R., LEISER, A., MORSE, S., YANG, A., SADHUKHAN, J. Maximising the recovery of low grade heat: An integrated heat integration framework incorporating heat pump intervention for simple and complex factories. **Applied Energy**, 160, 172-184, 2015.
- MIRANDA-ACKERMAN, M.A., AZZARO-PANTEL, C., AGUILAR-LASSERE, A.A. A green supply chain network design framework for the processed food industry: Application to the orange juice agrofood cluster. **Computers & Industrial Engineering**, 109, 369-389, 2017.
- MORAES, C.F., SILVA, M.B. Framework for conformity assessment based on an analogy with the Uncertainty Principle of Quantum Mechanics (FCAUP). **International Journal of Production Economics**, 203, 394-403, 2018.
- MORIOKA, S.N., CARVALHO, M.M. A systematic literature review towards a conceptual framework for integrating sustainability performance into business. **Journal of Cleaner Production**, 136, 134-146, 2016.
- MYLLYVIITA, T., LESKINEN, P., LÄHTINEN, K., PASANEN, K., SIRONEN, S., KÄHKÖNEN, T., SIKANEN, L. Sustainability assessment of wood-based bioenergy - A methodological framework and a case-study. **Biomass and bioenergy**, 59, 293-299, 2013.

- NAGALINGAM, S.V., KUIK, S.S., AMER, Y. Performance measurement of product returns with recovery for sustainable manufacturing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 29, 473-483, 2013.
- NAKA, Y., HIRAO, M., SHIMIZU, Y., MURAKI, M., KONDO, Y. Technological information infrastructure for product lifecycle engineering. **Computers and Chemical Engineering**, 24, 665-670, 2000.
- NANNAPANENI, S., MAHADEVAN, S., RACHURI, S. Performance evaluation of a manufacturing process under uncertainty using Bayesian networks. **Journal of Cleaner Production**, 113, 947-959, 2016.
- NERI, A., CAGNO, E., SEBASTIANO, G., TRIANNI, A. Industrial sustainability: Modelling drivers and mechanisms with barriers. **Journal of Cleaner Production**, 194, 452-472, 2018.
- NEUGEBAUER, S., EMARA, Y., HELLERSTROM, C., FINKBEINER, M. Calculation of Fair wage potentials along products' life cycle - Introduction of a new midpoint impact category for social life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, 143, 1221-1232, 2017.
- NEUMAYER, E. **Weak versus Strong Sustainability: Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms**, 3rd ed. Edward Elgar, Cheltenham, UK, 2010.
- NEVES, F.O., SALGADO, E.G., BEIJO, L.A. Analysis of the Environmental Management System based on ISO14001 on the American continent. **Journal of Environmental Management**, 199, 251-262, 2017.
- NICOLETTI JUNIOR, A., OLIVEIRA, M.C., HELLENO, A.L. Sustainability evaluation model for manufacturing systems based on the correlation between triple bottom line dimensions and balanced scorecard perspectives. **Journal of Cleaner Production**, 190, 84-93, 2018.
- NIKOLAOU, I.E., TSALIS, T. A framework to evaluate eco- and social-labels for designing a sustainability consumption label to measure strong sustainability impact of firms/products. **Journal of Cleaner Production**, 182, 105-113, 2018.
- NILSEN, H.R. The joint discourse 'reflexive sustainable development' - From weak towards strong sustainable development. **Ecological Economics**, 69, 495-501, 2010.
- NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P.A., MONFORTI, F. Energy flows and greenhouses gases of EU (European Union) national breads using an LCA (Life Cycle Assessment) approach. **Journal of Cleaner Production**, 140, 455-469, 2017.
- NUNES, K.R.A., VALLE, A.R., PEIXOTO, J.A.A. Business sustainability in Brazil and Germany: case study of the automotive industry. **International Journal Energy Environment**, 1, 321-332, 2010.
- OFFERMANN, V., ANDERSEN, O.Z., RIEDE, G., SILLASSEN, M., JEPPESEN, C.S., ALMTOFT, K.P., TALASZ, H., ÖHMAN-MÄGI, C., LETHAUS, B., TOLBA, R., KLOSS, F., FOSS, M. Effect of strontium surface-functionalized implants on early and late osseointegration: A histological, spectrometric and tomographic evaluation. **Acta Biomaterialia**, 69, 385-394, 2018.
- OLADAPO, B.I., BALOGUN, V.A., ADEOYE, A.O.M., OLUBUNMI, I.E., AFOLABI, S.O. Experimental analysis of electro-pneumatic optimization of hot stamping machine control systems with on-delay timer. **Journal of Applied Research and Technology**, 15, 356-364, 2017.
- OLIVEIRA NETO, G.C., PINTO, L.F.R., AMORIM, M.P.C., GIANNETTI, B.F., ALMEIDA, C.M.V.B. A framework of actions for strong sustainability. **Journal of Cleaner Production**, 196, 1629-1643, 2018.
- OPACIC, L., SOWLATI, T., MOBINI, M. Design and development of a simulation-based decision support tool to improve the production process at an engineered wood products mill. **International Journal of Production Economics**, 199, 209-219, 2018.
- ORJI, I.J. Examining barriers to organizational change for sustainability and drivers of sustainable performance in the metal manufacturing industry. **Resources, Conservation & Recycling**, 140, 102-114, 2019.

- OSIRO, L., LIMA-JUNIOR, F.F., CARPINETTI, L.C.R. A group decision model based on quality function deployment and hesitant fuzzy for selecting supply chain sustainability metrics. **Journal of Cleaner Production**, 183, 964-978, 2018.
- OZCAN, E.C., UNLUSOY, S., EREN, T. A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 78, 1410-1423, 2017.
- PALANKAR, N., RAVI SHANKAR, A.U., MITHUN, B.M. Studies on eco-friendly concrete incorporating industrial waste as aggregates. **International Journal of Sustainable Built Environment**, 4, 378-390, 2015.
- PAN, J.N., NGUYEN, H.T.N. Achieving customer satisfaction through product–service systems. **European Journal of Operational Research**, 247, 179-190, 2015.
- PANDA, B., PAUL, S.C., HUI, L.J., TAY, Y.W.D., TAN, M.J. Additive manufacturing of geopolymers for sustainable built environment. **Journal of Cleaner Production**, 167, 281-288, 2017.
- PARK, S.Y., LEE, H.U., LEE, Y.C., KIM, G.H., PARK, E.C., HAN, S.H., LEE, J.G., CHOI, S., HEO, N.S., KIM, D.L., HUH, Y.S., LEE, J. Wound healing potential of antibacterial microneedles loaded with green tea extracts. **Materials Science and Engineering C**, 42, 757-762, 2014.
- PAUDEL, A.M., KREUTZMANN, P. Design and performance analysis of a hybrid solar tricycle for a sustainable local commute. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 41, 473-482, 2015.
- PELENC, J., BALLEST, J. Strong sustainability, critical natural capital and the capability approach. **Ecological Economics**, 112, 36-44, 2015.
- PENG, T., XU, X. An interoperable energy consumption analysis system for CNC machining. **Journal of Cleaner Production**, 140, 1828-1841, 2017.
- PIANO, S.L., MAYUMI, K. Toward an integrated assessment of the performance of photovoltaic power stations for electricity generation. **Applied Energy**, 186, 167-174, 2017.
- PIPKIN, S., FUENTES, A. Spurred to Upgrade: A Review of Triggers and Consequences of Industrial Upgrading in the Global Value Chain Literature. **World Development**, 98, 536-554, 2017.
- POLLESCH, N., DALE, V.H. Applications of aggregation theory to sustainability assessment. **Ecological Economics**, 114, 117-127, 2015.
- POLLESCH, N., DALE, V.H. Normalization in sustainability assessment: Methods and implications. **Ecological Economics**, 130, 195-208, 2016.
- POMPONI, F., MONCASTER, A. Circular economy for the built environment: A research framework. **Journal of Cleaner Production**, 143, 710-718, 2017.
- PRATO, T. A fuzzy logic approach for evaluating ecosystem sustainability. **Ecological Modelling**, 187, 361-368, 2005.
- PUCA, A., CARRANO, M., LIU, G., MUSELLA, D., RIPA, M., VIGLIA, S., ULGIATI, S. Energy and eMergy assessment of the production and operation of a personal computer. **Resources, Conservation and Recycling**, 116, 124-136, 2017.
- PUGNA, A., NEGREA, R., MICLEA, S. Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 221, 308-316, 2016.
- PUNKKINEN, H., MERTA, E., TEERIOJA, N., MOLIIS, K., KUNVAJA, E. Environmental sustainability comparison of a hypothetical pneumatic waste collection system and a door-to-door system. **Waste Management**, 32, 1775-1781, 2012.
- PURNOMO, H., GUIZOL, P., MUHTAMAN, D.R. Governing the teak furniture business: A global value chain system dynamic modelling approach. **Environmental Modelling & Software**, 24, 1391-1401, 2009.



- PUSAVEC, F., DESHPANDE, A., YANG, S., M'SAOUBI, R., KOPAC, J., DILLON JR, O.W., JAWAHIR, I.S. Sustainable machining of high temperature Nickel alloy - Inconel 718: part 2 - chip breakability and optimization. **Journal of Cleaner Production**, 87, 941-952, 2015.
- QUADER, M.A., AHMED, S., GHAZILLA, R.A.R., AHMED, S., DAHARI, M. Evaluation of criteria for CO<sub>2</sub> capture and storage in the iron and steel industry using the 2-tuple DEMATEL technique. **Journal of Cleaner Production**, 120, 207-220, 2016.
- RABTA, B., SCHODL, R., REINER, G., FICHTINGER, J. A hybrid analysis method for multi-class queueing networks with multi-server nodes. **Decision Support Systems**, 54, 1541-1547, 2013.
- RAHIM, S.A., CARTER, P., ELKORDY, A.A. Influence of calcium carbonate and sodium carbonate gassing agents on pentoxifylline floating tablets properties. **Powder Technology**, 322, 65-74, 2017.
- RAJAK, S., VINODH, S. Application of fuzzy logic for social sustainability performance evaluation: a case study of an Indian automotive component manufacturing organization. **Journal of Cleaner Production**, 108, 1184-1192, 2015.
- RAMAKRISHNAN, R., LODES, M.A., ROSIWAL, S.M., SINGER, R.F. Self-supporting nanocrystalline diamond foils: Influence of template morphologies on the mechanical properties measured by ball on three balls testing. **Acta Materialia**, 59, 3343-3351, 2011.
- RAMBAUD, A., RICHARD, J. The "Triple Depreciation Line" instead of the "Triple Bottom Line": Towards a genuine integrated reporting. **Critical Perspectives on Accounting**, 33, 92-116, 2015.
- RAMEZANKHANI, M.J., ALI TORABI, S., VAHIDI, F. Supply chain performance measurement and evaluation: A mixed sustainability and resilience approach. **Computers & Industrial Engineering**, 126, 531-548, 2018.
- RAMOS, A.R., FERREIRA, J.C.E., KUMAR, V., GARZA-REYES, J.A., CHERRAFI, A. A lean and cleaner production benchmarking method for sustainability assessment: A study of manufacturing companies in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 177, 218-231, 2018.
- RAO, M., CHHABRIA, R., GUNASEKARAN, A., MANDAL, P. Improving competitiveness through performance evaluation using the APC model: A case in micro-irrigation. **International Journal of Production Economics**, 195, 1-11, 2018.
- RAOUFI, K., PARK, K., KHAN, M.T.H., HAAPALA, K.R., PSENKA, C.E., JACKSON, K.L., KREMER, G.E.O., KIM, K.Y. A cyberlearning platform for enhancing undergraduate engineering education in sustainable product design. **Journal of Cleaner Production**, 211, 730-741, 2019.
- REMENYI, D. So you want to be an academic researcher in business and management studies! Where do you start and what are the key philosophical issues to think about? **South African Journal of Business Management**, 27, 22-33, 1996.
- REN, S., ZHANG, Y., LIU, Y., SAKAO, T., HUISINGH, D., ALMEIDA, C.M.V.B. A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing: A framework, challenges and future research directions. **Journal of Cleaner Production**, 210, 1343-1365, 2019.
- RIBEIRO, I., KAUFMANN, J., SCHMIDT, A., PEÇAS, P., HENRIQUES, E., GÖTZE, U. Fostering selection of sustainable manufacturing technologies e a case study involving product design, supply chain and life cycle performance. **Journal of Cleaner Production**, 112, 3306-3319, 2016.
- ROMERO, J.C., LINARES, P. Exergy as a global energy sustainability indicator. A review of the state of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 33, 427-442, 2014.
- ROY, P., MAHAPATRA, B.S., MAHAPATRA, G.S., ROY, P.K. Entropy based region reducing genetic algorithm for reliability redundancy allocation in interval environment. **Expert Systems with Applications**, 41, 6147-6160, 2014.

- ROYO, P., FERREIRA, V.J., LÓPEZ-SABIRÓN, A.M., FERREIRA, G. Hybrid diagnosis to characterise the energy and environmental enhancement of photovoltaic modules using smart materials. **Energy**, 101, 174-189, 2016.
- SAAD, M.H., NAZZAL, M.A., DARRAS, B.M. A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes. *Ecological Indicators*, 97, 211-224, 2019.
- SAATY, T.L., VARGAS, L.G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. 2<sup>nd</sup> edition, Springer, 2012.
- SAVALAINEN, P., TURPEINEN, E., OMODARA, L., KABRA, S., ORAVISJARVI, K., YADAV, G.D., KEISKI, R.L., PONGRACZ, E. Developing and testing a tool for sustainability assessment in an early process design phase e Case study of formic acid production by conventional and carbon dioxide-based routes. **Journal of Cleaner Production**, 168, 1636-1651, 2017.
- SABAGHI, M., MASCLE, C., BAPTISTE, P., ROSTAMZADEH, R. Sustainability assessment using fuzzy-inference technique (SAFT): A methodology toward green products. **Expert Systems With Applications**, 56, 69-79, 2016.
- SABERI, B. The role of the automobile industry in the economy of developed countries. **International Robotics & Automation Journal**, 4(3), 179-180, 2018.
- SAEIDI, D., SEDAGHAT, A., ALAMDARI, P., ALEMRAJABI, A.A. Aerodynamic design and economical evaluation of site specific small vertical axis wind turbines. **Applied Energy**, 101, 765-775, 2013.
- SAKTHIVEL, G., SIVAKUMAR, R., SARAVANAN, N., IKUA, B.W. A decision support system to evaluate the optimum fuel blend in an IC engine to enhance the energy efficiency and energy management. **Energy**, 140, 566-583, 2017.
- SAMUEL-FITWI, B., MEYER, S., RECKMANN, K., SCHROEDER, J.P., SCHULZ, C. Aspiring for environmentally conscious aquafeed: comparative LCA of aquafeed manufacturing using different protein sources. **Journal of Cleaner Production**, 52, 225-233, 2013.
- SARAVIA-CORTEZ, A.M., HERVA, M., GARCÍA-DIÉGUEZ, C., ROCA, E. Assessing environmental sustainability of particleboard production process by ecological footprint. **Journal of Cleaner Production**, 52, 301-308, 2013.
- SARKIS, J. A boundaries and flows perspective of green supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, 17(2), 202-216, 2012.
- SAUNDERS, M., LEWIS, P., THORNHILL, A. **Research Methods for Business Students**. 6th ed. Pearson Education Limited, 2012.
- SAVINO, M.M., MANZINI, R., SELVA, V.D., ACCORSI, R. A new model for environmental and economic evaluation of renewable energy systems: The case of wind turbines. **Applied Energy**, 189, 739-752, 2017.
- SCHALTEGGER, S., WAGNER, M. Integrative management of sustainability performance, measurement and reporting. **International journal of accounting**, 3, 1-19, 2006.
- SCHNBRODT, T., MOHL, S., WINTER, G., REICH, G. NIR spectroscopy - a non-destructive analytical tool for protein quantification within lipid implants. **Journal of Controlled Release**, 114, 261-267, 2006.
- SEOK, H., NOF, S.Y. Dynamic coalition reformation for adaptive demand and capacity sharing. **Int. J. Production Economics**, 147, 136-146, 2014.
- SHAN, S., WANG, L., XIN, T., BI, Z. Developing a rapid response production system for aircraft manufacturing. **Int. J. Production Economics**, 146, 37-47, 2013.
- SHANG, C., WU, T., HUANG, G., WU, J. Weak sustainability is not sustainable: Socioeconomic and environmental assessment of Inner Mongolia for the past three decades. **Resources, Conservation & Recycling**, 141, 243-252, 2019.
- SHMELEV, S.E., RODRÍGUEZ-LABAJOS, B. Dynamic multidimensional assessment of sustainability at the macro level: The case of Austria. **Ecological Economics**, 68, 2560-2573, 2009.

- SIBBEL, A. The sustainability of functional foods. **Social Science & Medicine**, 64, 554-561, 2007.
- SIKDER, A., INEKWE, J., BHATTACHARYA, M. Economic output in the era of changing energy-mix for G20 countries: New evidence with trade openness and research and development investment. **Applied Energy**, 235, 930-938, 2019.
- SILBERMAYR, L., JAMMERNEGG, W., KISCHKA, P. Inventory pooling with environmental constraints using copulas. **European Journal of Operational Research**, 263, 479-492, 2017.
- SILVA, S.R., ANDRADE, J.J.O. Investigation of mechanical properties and carbonation of concretes with construction and demolition waste and fly ash. **Construction and Building Materials**, 153, 704-715, 2017.
- SINGH, R.K., MURTY, H.R., GUPTA, S.K., DIKSHIT, A.K. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological Indicators**, 15, 281-299, 2012.
- SIRACUSA, V., INGRAO, C., LO GIUDICE, A., MBOHWA, C., DALLA ROSA, M. Environmental assessment of a multilayer polymer bag for food packaging and preservation: An LCA approach. **Food Research International**, 62, 151-161, 2014.
- SIVAIAH, P., CHAKRADHAR, D. Modeling and optimization of sustainable manufacturing process in machining of 17-4 PH stainless steel. **Measurement**, 134, 142-152, 2019.
- SIVARAJA, C.M., SAKTHIVEL, G. Compression ignition engine performance modelling using hybrid MCDM techniques for the selection of optimum fish oil biodiesel blend at different injection timings. **Energy**, 139, 118-141, 2017.
- SMITH, R.L., RUIZ-MERCADO, G.J., GONZALEZ, M.A. Using GREENSCOPE indicators for sustainable computer-aided process evaluation and design. **Computers and Chemical Engineering**, 81, 272-277, 2015.
- SPROEDT, A., PLEHN, J., SCHONSLEBEN, P., HERRMANN, C. A simulation-based decision support for eco-efficiency improvements in production systems. **Journal of Cleaner Production**, 105, 389-405, 2015.
- STINDT, D. A generic planning approach for sustainable supply chain management - How to integrate concepts and methods to address the issues of sustainability? **Journal of Cleaner Production**, 153, 146-163, 2017.
- STOYCHEVA, S., MACHESE, D., PAUL, C., PADOAN, S., JUHMANI, A. LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis framework for sustainable manufacturing in automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, 187, 257-272, 2018.
- SUBRAMANIAN, N., RAMANATHAN, R. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. **Int. J. Production Economics**, 138, 215-241, 2012.
- SUEYOSHI, T., GOTO, M. Resource utilization for sustainability enhancement in Japanese industries. **Applied Energy**, 228, 2308-2320, 2018.
- SUPINO, S., MALANDRINO, O., TESTA, M., SICA, D. Sustainability in the EU cement industry: the Italian and German experiences. **Journal of Cleaner Production**, 112, 430-442, 2016.
- TAJBAKHSH, A., HASSINI, E. A data envelopment analysis approach to evaluate sustainability in supply chain networks. **Journal of Cleaner Production**, 105, 74-85, 2015.
- TAN, H.X., YEO, Z., NG, R., TJANDRA, T.B., SONG, B. A sustainability indicator framework for singapore small and medium-sized manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, 29, 132-137, 2015.
- TANG, D., DAI, M., SALIDO, M.A., GIRET, A. Energy-efficient dynamic scheduling for a flexible flow shop using an improved particle swarm optimization. **Computers in Industry**, 81, 82-95, 2016.
- TANG, Y., MAK, T.K., ZHAO, Y.F. A framework to reduce product environmental impact through design optimization for additive manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, 137, 1560-1572, 2016.

- TEIXEIRA, A.R.S., SANTOS, J.L.C., CRESPO, J.G. Sustainable membrane-based process for valorisation of cork boiling wastewaters. **Separation and Purification Technology**, 66, 35-44, 2009.
- THANKI, S., GOVINDAN, K., THAKKAR, J. An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach. **Journal of Cleaner Production**, 135, 284-298, 2016.
- THEIBEN, S., SPINLER, S. Strategic analysis of manufacturer-supplier partnerships: An ANP model for collaborative CO2 reduction management. **European Journal of Operational Research**, 233, 383-397, 2014.
- TRIANNI, A., CAGNO, E., BERTOLOTTI, M., THOLLANDER, P., ANDERSSON, E. Energy management: A practice-based assessment model. **Applied Energy**, 235, 1614-1636, 2019.
- TRIANNI, A., CAGNO, E., NERI, A. Modelling barriers to the adoption of industrial sustainability measures. **Journal of Cleaner Production**, 168, 1482-1504, 2017.
- TSAI, D.H.A. The effects of dynamic industrial transition on sustainable development. **Structural Change and Economic Dynamics**, 44, 46-54, 2018.
- TSENG, M.L., DIVINAGRACIA, L., DIVINAGRACIA, R. Evaluating firm's sustainable production indicators in uncertainty. **Computers & Industrial Engineering**, 57, 1393-1403, 2009.
- TSENG, S.C., HUNG, S.W. A strategic decision-making model considering the social costs of carbon dioxide emissions for sustainable supply chain management. **Journal of Environmental Management**, 133, 315-322, 2014.
- TURETTA, A.P.D., KUYPER, T., MALHEIROS, T.F., COUTINHO, H.L.C. Corrigendum to "A framework proposal for sustainability assessment of sugarcane in Brazil" [Land Use Policy 68 (2017) 597–603]. **Land Use Policy**, 72, 578-585, 2018.
- UEHARA, T., MINEO, K. Regional sustainability assessment framework for integrated coastal zone management: Satoumi, ecosystem services approach, and inclusive wealth. *Ecological Indicators*, 73, 716-725, 2017.
- ULUTAN, D., OZEL, T. Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 51, 250-280, 2011.
- UNGER, S., LANDIS, A. Assessing the environmental, human health, and economic impacts of reprocessed medical devices in a Phoenix hospital's supply chain. **Journal of Cleaner Production**, 112, 1995-2003, 2016.
- UNNISA, S.A., HASSANPOUR, M. Development circumstances of four recycling industries (used motor oil, acidic sludge, plastic wastes and blown bitumen) in the world. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 72, 605-624, 2017.
- URBAN, T.L., CHIANG, W.C. Designing energy-efficient serial production lines: The unpaced synchronous line-balancing problem. **European Journal of Operational Research**, 248, 789-801, 2016.
- VALAKI, J.B., RATHOD, P.P., SANKHAVARA, C.D. Investigations on technical feasibility of *Jatropha curcas* oil based bio dielectric fluid for sustainable electric discharge machining (EDM). **Journal of Manufacturing Processes**, 22, 151-160, 2016.
- VALLERIO, M., HUFKENS, J., IMPE, J.V., LOGIST, F. An interactive decision-support system for multi-objective optimization of nonlinear dynamic processes with uncertainty. **Expert Systems with Applications**, 42, 7710-7731, 2015.
- VAN DE VEN, A.H. **Engaged Scholarship: A Guide for Organizational and Social Research**. Oxford: Oxford University Press, 2007.
- VAN SNINCK, B., HOLMAN, J., CUNNINGHAM, C., KUMAR, A., VERCRUYSSSE, J., DE BEER, T., REMON, J.P., VERVAET, C. Continuous direct compression as manufacturing platform for sustained release tablets. **International Journal of Pharmaceutics**, 519, 390-407, 2017.
- VANALLE, R.M., GANGA, G.M.D., GODINHO FILHO, M., LUCATO, W.C. Green supply chain management: An investigation of pressures, practices, and performance within the Brazilian automotive supply chain. **Journal of Cleaner Production**, 151, 250-259, 2017.

- VASSAUX, S., GAUDEFROY, V., BOULANGÉ, L., PÉVÈRE, A., MOUILLET, V., BARRAGAN-MONTERO, V. Towards a better understanding of wetting regimes at the interface asphalt/aggregate during warm-mix process of asphalt mixtures. **Construction and Building Materials**, 133, 182-195, 2017.
- VERSTRAETE, G., RENTERGHEM, J.V., VAN BOCKSTAL, P.J., KASMI, S., DE GEEST, B.G., DE BEER, T., REMON, J.P., VERVAET, C. Hydrophilic thermoplastic polyurethanes for the manufacturing of highly dosed oral sustained release matrices via hot melt extrusion and injection molding. **International Journal of Pharmaceutics**, 506, 214-221, 2016.
- VOSS, C., TSIKRIKTSIS, N., FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, 22, 195-219, 2002.
- WAAGE, S.A. Modelling manufacturing evolution: thoughts on sustainable industrial development. **Journal of Cleaner Production**, 15, 638-649, 2007.
- WAAGE, S.A. Re-considering product design: a practical “road-map” for integration of sustainability issues. **Journal of Cleaner Production**, 15, 638-649, 2007.
- WALSH, B.P., BRUTON, K., O’SULLIVAN, D.T.J. The true value of water: A case-study in manufacturing process water-management. **Journal of Cleaner Production**, 141, 551-567, 2017.
- WANG, Q., PLOŠKIĆ, A., SONG, X., HOLMBERG, S. Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retrofitting - An investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses. **Energy and Buildings**, 121, 250-264, 2016.
- WANG, Z., ZENG, H., WEI, Y., ZHANG, Y. Regional total factor energy efficiency: An empirical analysis of industrial sector in China. **Applied Energy**, 97, 115-123, 2012.
- WARD, H., BURGER, M., CHANG, Y.J., FURSTMANN, P., NEUGEBAUER, S., RADEBACH, A., SPROESSER, G., PITTNER, A., RETHMEIER, M., UHLMANN, E., STECKEL, J.C. Assessing carbon dioxide emission reduction potentials of improved manufacturing processes using multiregional input output frameworks. **Journal of Cleaner Production**, 163, 154-165, 2017.
- WELLS, P. Sustainable business models and the automotive industry. **IIMB Management Review**, 25, 228-239, 2013.
- WEYENBERG, W., BOZDAG, S., FOREMAN, P., REMON, J.P., LUDWIG, A. Characterization and in vivo evaluation of ocular minitables prepared with different bioadhesive Carbopol-starch components. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, 62, 202-209, 2006.
- WIJAYASUNDARA, M., MENDIS, P., ZHANG, L., SOFI, M. Financial assessment of manufacturing recycled aggregate concrete in ready-mix concrete plants. **Resources, Conservation and Recycling**, 109, 187-201, 2016.
- WOO, C., KIM, M.G., CHUNG, Y., RHO, J.J. Suppliers' communication capability and external green integration for green and financial performance in Korean construction industry. **Journal of Cleaner Production**, 112, 483-493, 2016.
- WU, H., LV, K., LIANG, L., HU, H. Measuring performance of sustainable manufacturing with recyclable wastes: A case from China's iron and steel industry. **Omega**, 66, 38-47, 2017.
- XIA, X., GOVINDAN, K., ZHU, Q. Analyzing internal barriers for automotive parts remanufacturers in China using grey-DEMATEL approach. **Journal of Cleaner Production**, 87, 811-825, 2015.
- XIA, Y., LI, Y., GUAN, D., TINOCO, D.M., XIA, J., YAN, Z., YANG, J., LIU, Q., HUO, H. Assessment of the economic impacts of heat waves: A case study of Nanjing, China. **Journal of Cleaner Production**, 171, 811-819, 2018.
- XUEYI, G., JUYA, Z., YU, S., QINGHUA, T. Substance flow analysis of zinc in China. **Resources, Conservation and Recycling**, 54, 171-177, 2010.

- YAMADA, T., MIZUHARA, N., YAMAMOTO, H., MATSUI, M. A performance evaluation of disassembly systems with reverse blocking. **Computers & Industrial Engineering**, 56, 1113-1125, 2009.
- YAN, J., ZHAO, T., LIN, T., LI, Y. Investigating multi-regional cross-industrial linkage based on sustainability assessment and sensitivity analysis: A case of construction industry in China. **Journal of Cleaner Production**, 142, 2911-2924, 2017.
- YANG, Y., LI, L. Total volatile organic compound emission evaluation and control for stereolithography additive manufacturing process. **Journal of Cleaner Production**, 170, 1268-1278, 2018.
- YIN, R.K. **Case Study Research: Design and Methods**, Newbury Park: Sage, 4th ed., 2009.
- YOUNESI, M., ROGHANIAN, E. A framework for sustainable product design: a hybrid fuzzy approach based on Quality Function Deployment for Environment. **Journal of Cleaner Production**, 108, 385-394, 2015.
- YUE, D., YOU, F. Sustainable scheduling of batch processes under economic and environmental criteria with MINLP models and algorithms. **Computers and Chemical Engineering**, 54, 44-59, 2013.
- ZHAI, M., HUANG, G., LIU, L., SU, S. Dynamic input-output analysis for energy metabolism system in the Province of Guangdong, China. **Journal of Cleaner Production**, 196, 747-762, 2018.
- ZHANG, H., HAAPALA, K.R. Integrating sustainable manufacturing assessment into decision making for a production work cell. **Journal of Cleaner Production**, 105, 52-63, 2015.
- ZHANG, X., LIU, G., LI, W., EVANS, S., YIN, Y. Effects of key enabling technologies for seru production on sustainable performance. **Omega**, 66, 290-307, 2017.
- ZHANG, Z., ZHU, Y., YANG, T., LI, L., ZHU, H., WANG, H. Conversion of local industrial wastes into greener cement through geopolymer technology: A case study of high-magnesium nickel slag. **Journal of Cleaner Production**, 141, 463-471, 2017.
- ZHAO, R., SU, H., CHEN, X., YU, Y. Commercially available materials selection in sustainable design: an integrated multi-attribute decision making approach. **Sustainability**, 8, 79, 2016.
- ZHAO, H., SUN, Y., TAKEUCHI, T., ZHAO, S. Comprehensive stress-strain model of square steel tube stub columns under compression. **Engineering Structures**, 131, 503-512, 2017.
- ZHOU, B., SHEN, C. Multi-objective optimization of material delivery for mixed model assembly lines with energy consideration. **Journal of Cleaner Production**, 192, 293-305, 2018.
- ZHOU, L., LI, J., LI, F., MENG, Q., LI, J., XU, X. Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review. **Journal of Cleaner Production**, 112, 3721-3734, 2016.
- ZHOU, S., LI, X., DU, N., PANG, Y., CHEN, H. A multi-objective differential evolution algorithm for parallel batch processing machine scheduling considering electricity consumption cost. **Computers and Operations Research**, 96, 55-68, 2018.
- ZHOU, Z., ZHAO, W., CHEN, X., ZENG, H. MFCA extension from a circular economy perspective: Model modifications and case study. **Journal of Cleaner Production**, 149, 110-125, 2017.
- ZHU, Q., SARKIS, J., LAI, K. Institutional-based antecedents and performance outcomes of internal and external Green Supply Chain Management practices. **Journal of Purchasing and Supply Management**, 19(2), 106-117, 2013.
- ZHU, Q., LUJIA, F., MAYYAS, A., OMAR, M.A., AL-HAMMADI, Y., AL SALEH, S. Production energy optimization using low dynamic programming, a decision support tool for sustainable manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, 105, 178-183, 2015.
- ZHU, W.H., ZHU, Y., TATARCHUK, B.J. A simplified equivalent circuit model for simulation of Pb-acid batteries at load for energy storage application. **Energy Conversion and Management**, 52, 2794-2799, 2011.

ZYOUD, S. H., FUCHS-HANUSCH, D. A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. **Expert Systems with Applications**, 78, 158–181, 2017.

## APÊNDICE 1 – Questionário enviado a especialistas em Sustentabilidade

### Forte

Questionário enviado aos especialistas em Sustentabilidade Forte.

### **Sustainability assessment in manufacturing**

This survey intends to obtain the analysis of experts in sustainability on the proposed metrics to evaluate performance of industries under the strong sustainability perspective.

The questionnaire consists in four sections, which request: (i) some personal information and; to indicate the degree of relevance of (ii) environmental metrics; (iii) social metrics; (iv) economic metrics.

\*mandatory

#### **Personal information**

1. **Full name** \*

2. **Institutional affiliation** \*

3. **Function** \*

4. **Expertise** \*

#### **Environmental aspect**

Based on the strong sustainability concept, mark the degree of relevance of each metric described below to evaluate sustainability in manufacturing.

5. **Consumption of non-renewable materials.** \*

low relevance

medium-low relevance

medium relevance

medium-high relevance

high relevance

6. **Consumption of renewable materials.** \*

low relevance

medium-low relevance

medium relevance

medium-high relevance

high relevance

7. **Design for life cycle.** \*

low relevance

medium-low relevance

medium relevance

medium-high relevance

high relevance

8. **Hazardous raw material used.** \*

low relevance

medium-low relevance



medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**9. Material recycling. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**10. Material reuse. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**11. Energy consumption \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**12. Water consumption \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**13. Natural habitat conservation \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**14. Green Housing Gases (GHG) emission \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**15. Wastewater \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**16. Solid waste \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**17. Compliance with the environmental legislation \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**18. Supplier assessment (environmental requirements). \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

## **Social metrics**

Based on the strong sustainability concept, mark the degree of relevance of each metric described below to evaluate sustainability in manufacturing.

**19. Number of employees. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**20. Employee suggestions for improvements. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**21. Job satisfaction. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**22. Lost workdays. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**23. Number of accidents (safety & health) \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**24. Employee training \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**25. Gender equity (female & male) \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**26. Investment in social projects \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**27. Supplier assessment (social requirements). \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**28. Customer satisfaction. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**29. Compliance with the social legislation. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**Economic metrics**

Based on the strong sustainability concept, mark the degree of relevance of each metric described below

to evaluate sustainability in manufacturing.

**30. Sales. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**31. Revenue. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**32. Operating costs. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**33. Profit. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**34. Research and development expenditure. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**35. Market share. \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

**36. Overall Equipment Efficiency (OEE). \***

low relevance  
medium-low relevance  
medium relevance  
medium-high relevance  
high relevance

## **APÊNDICE 2 – Respostas dos gestores de empresas**

Nessa seção foram incluídas evidências de respostas dos gestores das empresas IT1, IT2 e BR2 sobre a contribuição prática do modelo desenvolvido nessa pesquisa. O gestor da empresa BR1 não retornou o contato a tempo para que sua resposta fosse incluída nesse relatório.

## E-mail enviado ao Gestor de IT1



Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

---

### Feedback and final question - Research on sustainability

---

Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

13 June 2019 at 13:59

To: "Vox Carmine (BarP/MFI HSE-Bar PRS-Bar)" <carmine.vox@it.bosch.com>

Cc: "Prof. Giovanni Mummolo" <giovanni.mummolo@poliba.it>

Dear Mr. Carmine Vox,

I hope this e-mail finds you well.

I came back to Brazil on May 03rd. Nowadays, I'm preparing the final report of the PhD Thesis that I have to deliver in the next week.


As part of the research, I would like to share with you the results of the model application, see attachment. In addition, I ask you kindly to answer a final question:

***Based on your experience as a manager that is frequently involved in economic, environmental and social issues, do you agree that the results provided by the model offer a practical contribution to improve sustainability in industry?***

Thank you again for all support that you have given to this research.  
Best regards

Luiz Fernando Rodrigues Pinto  
Nove de Julho University  
Politecnico di Bari

---

 **IT1 - Feedback.docx**  
103K

# Resposta do Gestor de IT1



Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

---

## Feedback and final question - Research on sustainability

---

Vox Carmine (BarP/PJ-eB HSE-Bar PRS-Bar) <Carmine.Vox@it.bosch.com>

17 June 2019 at 04:58

To: Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

Cc: "Prof. Giovanni Mummolo" <giovanni.mummolo@poliba.it>

Hello Mr. Luiz Fernando,

Of course I fully agree that the results provided by the model can contribute to improve the sustainability in industry. Infact we know that we have achieved good results in social and environmental fields but we also are aware of the further potentials we still have (e.g. wastewater treatment for re-use).

Thanks for having involved us in your interesting Academic Project.

Cordiali Saluti / Best regards

**Carmine Vox**

Powertrain Solutions, Project e.Bike, Health Safety Environment, Protection & Security Director (BarP/PJ-eB HSE-Bar PRS-Bar)

Tecnologie Diesel S.p.A. - Società Unipersonale | [Via degli Oleandri, 8/10](#)

Zona Industriale | 70026 Modugno (BA) | ITALY | [www.bosch.com](#)

Tel. +39(080)587-5542 | Mobile +39(335)6065624 | PC-Fax +39(080)587-6999 |

[carmine.vox@it.bosch.com](mailto:carmine.vox@it.bosch.com)

Registered Office: [Via degli Oleandri, 8-10](#), Zona Industriale - 70026 Modugno (BA) - Italia.

Uffici Amministrativi: [Via M.A. Colonna, 35 - 20149 Milano](#), Registration Court: Repertorio Economico Amministrativo di Bari n. 340233; Partita

IVA: n. IT05616770722

Codice Fiscale e Numero Iscrizione al Registro delle Imprese di Bari: 01105570194

## E-mail enviado ao Gestor de IT2



Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

---

### Feedback and final question - Research on sustainability

---

Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

12 June 2019 at 21:13

To: "Modeo, Franco" <franco,modeo@magna.com>

Cc: "Prof. Giovanni Mummolo" <giovanni.mummolo@poliba.it>

Dear Mr Franco Modeo,

I hope this e-mail finds you well.

I came back to Brazil on May 03rd. Nowadays, I'm preparing the final report of the PhD Thesis that I have to deliver in the next week.

As part of the research, I would like to share with you the results of the model application, see attachment. In addition, I ask you kindly to answer a final question:

***Based on your experience as a manager that is frequently involved in economic, environmental and social issues, do you agree that the results provided by the model offer a practical contribution to improve sustainability in industry?***

Thank you again for all support that you have given to this research.  
Best regards

Luiz Fernando Rodrigues Pinto  
Nove de Julho University  
Politecnico di Bari

---

 **Feedback.docx**  
107K



## Resposta do Gestor de IT2



Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

---

### Feedback and final question - Research on sustainability

---

**Modeo, Franco** <Franco,Modeo@magna.com>  
To: Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>  
Cc: "Prof. Giovanni Mummolo" <giovanni.mummolo@poliba.it>

13 June 2019 at 12:51

Dear Luiz Fernando,

I found your calculation very interesting. Focusing on the set of indicators, knowing the related weight, permits to assess the overall sustainability performance of the organization.

Sustainability is often measured only considering what the organization does, but thanks to your idea you now offer a simple tool to measure what is actually achieved.

I wish you the best result with your PhD Thesis

Best regards,

Franco Modeo

## E-mail enviado ao Gestor de BR2



Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

---

### Resultados e pergunta final

---

Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

14 June 2019 at 12:29

To: Renee Alvim De Freitas <RodriguesRenee@la-bridgestone.com>

Prezada Mrs. Renée Alvim,

Boa tarde!

Estou em fase de conclusão da pesquisa que desenvolveu o modelo para o cálculo do índice de sustentabilidade em manufatura, sob a perspectiva de Sustentabilidade Forte.

Como parte da pesquisa, encaminho em anexo os resultados da aplicação do modelo com as informações fornecidas pela empresa. Cordialmente, solicito que responda a uma última questão:

***Com base em sua experiência como gestora que frequentemente está envolvida em assuntos econômicos, ambientais e sociais da empresa, você concorda que o modelo desenvolvido oferece contribuição à prática empresarial para a melhorar a sustentabilidade em indústrias?***

Obrigado pelo suporte oferecido para a realização dessa pesquisa. Atenciosamente,

**Luiz Fernando Rodrigues Pinto**  
Universidade Nove de Julho - UNINOVE  
Politecnico di Bari

## Resposta do Gestor de BR2



Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

---

### Resultados e pergunta final

---

Renee Alvim De Freitas <RodriguesRenee@la-bridgestone.com>  
To: Luiz Fernando <lfernandorp44@gmail.com>

17 June 2019 at 10:40

Bom dia.

Acredito que essa ferramenta contribui na gestão de Sustentabilidade, pois apresenta o panorama dos avanços alcançados. Além disso, o indicador auxilia a identificação de ações a serem priorizadas entre as possibilidades existentes, para conquistar melhores resultados.

Apesar de ser uma boa ferramenta, eu acho pouco provável que o uso do indicador de sustentabilidade diminua as restrições orçamentárias para implantação de melhorias ambientais e de segurança ocupacional.

Att,



**Renée A. Freitas**

Coordenadora

Gerência de Engenharia de Segurança e Meio Ambiente

Bridgestone do Brasil

Telefone: +55 (11) 4433-1362

Cel: +55 (11) 98175-5073