



## METHODS OF STANDARDIZATION, WEIGHTING AND AGGREGATION IN THE FORMATION OF SUSTAINABILITY INDEX

*Métodos de normalização, ponderação e agregação na formação de (sub)índice de sustentabilidade*

Alexandre André Feil

Universidade do Vale do Taquari - Univates

E-mail: alexandre.feil1@gmail.com

### ABSTRACT

The structuring of a sustainability index requires a transparent and reliable process, so that its results are the closest to reality and consistent. This study aimed at a critical analysis of the process of structural elaboration of the (sub) sustainability indexes, comparing its main disadvantages and advantages. The methodology used focuses on the qualitative through the technique of systematic literature review and snowballing. The keywords (composite indicators, index, sustainability, aggregation, normalization, advantages and disadvantages) have been inserted into the Google Scholar, Science Direct, Springer Link and Wiley Online Library search directories. The main results show that the techniques used in the process of standardization, weighting and aggregation of a set of data in a sustainability index present indifferent weaknesses and limitations. In addition, the multicriteria aggregation techniques cover qualitative, quantitative data and their uncertainties, but they do not eliminate the weaknesses and limitations of structuring the sustainability index. Thus, they tend to be more suitable, but do not guarantee that the index generated reflect the complexity of the reality of the system that has been reduced. The theoretical and practical contributions of this study are related to the choices of methods and techniques in structuring the (sub) sustainability index, since even with the choice of the most adequate ones in their elaboration, they do not eliminate their fragilities and limitations. The originality of the study is the combination of the main methods and techniques of elaborating a (sub) sustainability index in a single document, in the Portuguese language.

**Keywords:** Advantages, Disadvantages, Multicriteria analysis, Indicators of sustainability.

**ACEITO EM: 16/03/2020**

**PUBLICADO: 30/11/2020**



RISUS - Journal on Innovation and Sustainability  
volume 11, número 4 - 2020  
ISSN: 2179-3565

Editor Científico: Arnaldo José de Hoyos Guevara

Editor Assistente: Rosa Rizzi

Avaliação: Melhores práticas editoriais da ANPAD

## MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO, PONDERAÇÃO E AGREGAÇÃO NA FORMAÇÃO DE (SUB) ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE

*Methods of standardization, weighting and aggregation in the formation of sustainability index*

Alexandre André Feil

Universidade do Vale do Taquari - Univates

E-mail: alexandre.feil1@gmail.com

### RESUMO

A estruturação de um índice de sustentabilidade necessita de um processo transparente e confiável, para que seus resultados sejam os mais próximos da realidade e consistentes. Este estudo objetivou uma análise crítica do processo da elaboração estrutural dos (sub) índices de sustentabilidade, comparando suas principais desvantagens e vantagens. A metodologia utilizada centra-se na qualitativa mediante a técnica de revisão sistemático da literatura e a *snowballing*. As palavras chave (*composite indicators, index, sustainability, aggregation, normalization, advantages e disadvantages*) foram inseridas nos diretórios de busca da *Google Scholar, Science Direct, Springer Link e Wiley Online Library*. Os principais resultados revelam que as técnicas utilizadas no processo de normalização, ponderação e agregação de um conjunto de dados em um índice de sustentabilidade apresentam indistintamente fragilidades e limitações. Além disso, as técnicas multicritério de agregação abrangem dados qualitativos, quantitativos e suas incertezas, porém não eliminam as fragilidades e limitações da estruturação do índice de sustentabilidade. Sendo assim, tendem a ser mais adequados, mas não garantem que os índices gerados reflitam a complexidade da realidade do sistema que foi reduzido. As contribuições teóricas e práticas, deste estudo, relacionam-se com as escolhas dos métodos e técnicas na estruturação do (sub) índice de sustentabilidade, pois mesmo com a escolha dos mais adequados na sua elaboração, não eliminam suas fragilidades e limitações. A originalidade do estudo é a junção dos principais métodos e técnicas de elaboração de um (sub) índice de sustentabilidade em um único documento, na língua portuguesa.

**Palavras-chave:** Vantagens, Desvantagens, Análise multicritério, Indicadores de sustentabilidade.

## INTRODUÇÃO

A sustentabilidade busca a harmonia entre os subsistemas ecológicos (sustentabilidade ambiental), sociais (sustentabilidade social) e econômicos (sustentabilidade econômica), desta forma, tornando-a multidimensional e complexa. A sustentabilidade, neste estudo, é entendida como a mensuração do nível de qualidade de um sistema em determinado período estático (Todorov & Marinova, 2011; Feil & Schreiber, 2017).

A mensuração do nível de sustentabilidade pode ser realizada mediante indicadores e índices (Dahl, 2012; Moldan, Janoušková, & Hák, 2012). Os indicadores e índices de sustentabilidade, abrangendo os aspectos *triple bottom line* (ambientais, sociais e econômicos), estão adquirindo importância e reconhecimentos como ferramentas essenciais na elaboração de políticas e comunicação de informações públicas e o fornecimento de informações relativas ao desempenho, por exemplo, de países, empresas, comunidades, entre outras (Singh, Murty, Gupta, & Dikshit, 2012; Esty, Levy, Srebotnjak, & Sherbinin, 2005; Zhou, Ang, & Poh, 2006). Becker, Saisana, Paruolo, & Vandecasteele (2017) ainda complementam que podem realizar o monitoramento de políticas, a comunicação ao público e a geração de rankings de prioridades.

A sustentabilidade tem apresentado importantes desafios à comunidade científica quanto ao fornecimento de ferramentas de mensuração eficientes e confiáveis, por exemplo, o índice de sustentabilidade (Ness, Urbel-Piirsalu, Anderberg, & Olsson, 2007). Sendo assim, caso a estrutura do índice apresentar fragilidades no processo de normalização, ponderação e a agregação, este pode fornecer resultados enganosos e inconsistentes (Nardo, Saisana, Saltelli, & Tarantola, 2005; Mayer, 2008). Büyüközkan e Karabulut (2018) enfatizam que a mensuração do desempenho da sustentabilidade é altamente subjetiva e que as atuais atividades econômicas, em nível global, estão sendo percebidas como insustentáveis. Böhringer e Jochem (2007) enfatizam que o aumento da necessidade de precisão da mensuração do nível de sustentabilidade torna-se uma tarefa complexa. Wilson e Wu (2017) enfatizam que as especificidades da formulação do conjunto de indicadores, para a estruturação do índice, podem impactar substancialmente na medida da sustentabilidade de um sistema.

As metodologias utilizadas na normalização, ponderação e agregação do índice de sustentabilidade permanecem pouco compreendidas (Gan et al. 2017), e a escolha apropriada destas metodologias na elaboração de um índice de sustentabilidade é considerada um desafio (Wilson & Wu, 2017). Gan et al. (2017, p. 491) reforçam que esta escolha apropriada “[...] é uma tarefa extremamente importante e desafiadora”. Sendo assim, os métodos de normalização, ponderação e agregação podem influenciar os resultados do índice de sustentabilidade e, neste caso, é sugerido a comparação de diferentes combinações destas técnicas (Talukder, Hipel, & Vanloon, 2017).

O índice de sustentabilidade apresenta críticas na literatura, por exemplo, Jollands, Lermitt e Patterson (2003) e Sharpe (2004) destacam que um índice não é apropriado para explicar e comparar qualquer fenômeno observado e não captura a essência dos componentes individuais do conjunto de indicadores; Cherchye, Moesen, Rogge, e Puyenbroeck (2007), Singh et al. (2012) e Pérez, Guerrero, González, Pérez, e Caballero (2013) entendem que o índice não é confiável, pois envolve alguns estágios na sua elaboração que necessitam de julgamentos subjetivos; Nardo et al. (2005) afirmam que essas escolhas subjetivas podem ser utilizadas para manipular os resultados; Talukder et al. (2017) relatam que seu resultado pode ser enganoso, entre outros. Entretanto, há aqueles que defendem sua utilização, tais como, Zheng, Garrick, Atkinson-Palombo, Mccahill, e Marshall (2013), que fornecem informações (dados) úteis e instrutivas para as comunidades e organizações. Neste contexto, o escopo central deste estudo é realizar uma análise crítica do processo de elaboração estrutural dos (sub)índices de sustentabilidade, comparando suas principais desvantagens e vantagens.

A justificativa, deste estudo, vem ao encontro do alerta de Romero e Linares (2014) de que o processo de elaboração do índice de sustentabilidade e seu resultado necessitam de maior clareza e aprofundamento. Além disso, Mikulic, Kožić, e Krešić (2015) salientam que há a necessidade de uma profunda reflexão sobre a aplicabilidade de determinados processos na elaboração dos índices de sustentabilidade. Além disso, o uso de distintas metodologias e técnicas desta elaboração não convergem a um mesmo resultado, gerando assim, diversas perspectivas distintas. Este estudo contribui para a literatura e a sociedade, pois agrega diversas metodologias de elaboração de índices de sustentabilidade em um único estudo, e além disso, apresenta suas vantagens e desvantagens e uma análise crítica dos processos. A originalidade do estudo é justamente a aglomeração dos métodos e técnicas em um único documento, apresentando as principais vantagens e

desvantagens, para que os utilizadores tenham maior facilidade da escolha adequada e de suas limitações intrínsecas.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 Breve revisão conceitual sobre o índice de sustentabilidade

O índice de sustentabilidade representa um método de medição que utiliza a agregação para combinar vários indicadores em um único valor comparável (Singh, Murty, & Gupta, 2007). Feng, Joung, e Li (2010) entendem que este índice é um valor apurado com base em um conjunto de métricas (indicadores de sustentabilidade). Além disso, este índice mensura os aspectos multidimensionais vinculados a sustentabilidade e requer adequadas técnicas na agregação dos indicadores (Booyesen, 2002; Saisana & Tarantola, 2002; Munda, 2005; Mayer, 2008; Saisana, 2011).

No processo de estruturação do índice de sustentabilidade deve-se observar requisitos básicos, tais como (Malkina-Pykh, 2002; Moldan et al., 2004; Hart, 2006; Bohringer & Jochem, 2007; Mayer, 2008; Litman, 2014): a) coerência com as diretrizes da sustentabilidade; b) a identificação e seleção do indicadores deve atender as qualidades desejáveis; c) disponibilidade dos dados mensuráveis em longo prazo; d) observação dos objetivos políticos vinculados as mudanças a serem abordadas; e) adequadas técnicas de normalização, agregação e ponderação; f) compreensível, fácil utilização e transparente em termos de estrutura e cálculo; e g) factíveis de comparação entre índices em períodos temporais distintos.

O índice de sustentabilidade tem sido amplamente aceito como uma ferramenta de desempenho, benchmarking, análise de políticas e comunicações endógenas e exógenas (Esty et al., 2005; Zhou et al., 2006). Além disso, é essencial na comunicação de informações a tomada de decisão, pois apresentam as informações concisas, permitindo comparações fáceis e rápidas (Freudenberg, 2003; Zheng et al., 2013). Nardo et al. (2005) e Saisana, Saltelli e Tarantola (2005) destacam que os índices objetivam: a) resumir multidimensões complexas em informações simples para apoiar as tomadas de decisões; b) fornecer uma elevada quantidade de informações em apenas uma “fotografia” o que torna mais fácil a interpretação ao invés de analisar diversos indicadores distintos; c) flexibilidade da inclusão e exclusão de indicadores; e d) facilitar a comunicação da informação aos diversos stakeholders.

O índice de sustentabilidade, apesar de auxiliar no processo de gestão, também é alvo de críticas e cuidados que devem ser observados, tais como: a) um índice único não apresenta todas as informações, sendo assim, seria necessário múltiplos índices (Jollands et al., 2003); b) o índice é ambíguo, pois envolve diversos estágios os quais utilizam-se de julgamentos subjetivos (Cherchye et al., 2007; Singh et al., 2012; Pérez et al., 2013); c) dependendo da técnica de ponderação e agregação utilizados, estes podem inutilizar o índice (Zhou et al., 2006); d) existência de distintas técnicas utilizadas na apuração do índice dificultam sua comparação no tempo e de áreas distintas (Nardo et al., 2005; OECD, 2008; Castellani & Sala, 2009; Blancas, Gonzalez, Lozano, & Pérez, 2010); e) inexistência de consenso e padronização referente as terminologias de sua estrutura e processo (OECD, 2008; Zheng et al. 2013); f) possibilidade de perda de informações durante o processo de estruturação do índice (Ragas et al., 1995); e g) esconder deficiências e serem mal interpretados pelos seus utilizadores (OECD, 2008).

A estrutura do índice de sustentabilidade, em especial, a normalização, ponderação e agregação podem ser elaboradas por meio de diversas técnicas e, além disso, a terminologia associada aos componentes desta estrutura é padronizada (Nardo et al., 2005; OECD, 2008; Castellani & Sala, 2009; Blancas et al. 2010; Zheng et al., 2013). As técnicas utilizadas na elaboração do índice de sustentabilidade dependem mais da habilidade do analista do que das normas aceitas para construí-lo (Pérez et al., 2013). Portanto, o analista deve escolher a técnica de acordo com a informação a ser mensurada, incluindo o nível de pertinência e adequação dos indicadores, normalização, ponderação e a agregação (Nardo et al., 2005).

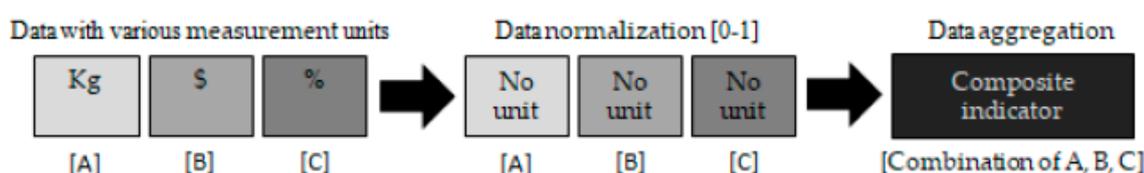
## 1.2 Os métodos de normalização, ponderação e agregação

### 1.2.1 Normalização

A normalização de dados dos indicadores é essencial, antes da agregação na formação do índice, pois transforma as distintas unidades de medidas<sup>1</sup> destes dados em escalas semelhantes ou em medidas livres de unidades (Diaz-Balteiro, González-Pachón, & Romero, 2017). Gómez-Limón e Sanchez-Fernandez (2010) enfatizam que a transformação de indicadores de base em variáveis adimensionais é necessária antes de qualquer agregação, pois devem ser expressos em unidades homogêneas para que sejam comparadas e executadas operações aritméticas.

Os dados dos indicadores podem ser agregados sem serem adimensionados se todas as variáveis estiverem com a mesma unidade de medida, por exemplo, porcentagem ou proporções (Pollesch & Dale, 2016). Freudenberg (2003) e Jacobs, Smith e Goddard (2004) entendem que a normalização das variáveis evita a dominação de valores extremos ou atípicos, ou seja, os denominados de *outliers*. Destarte, esses *outliers* - aqueles mais afastados da média - são propensos a refletirem informações subjacentes. A normalização de dados ou variáveis implica juízo de valores (Nardo, 2005). A Figura 1 ilustra o processo de normalização até a geração do índice de sustentabilidade.

**Figura 1** - Representação gráfica do processo de normalização e agregação



Fonte: Talukder et al. (2017, p. 3)

O procedimento de normalização na efetivação de índices de sustentabilidade requer cuidados especiais (Talukder et al., 2017), e segundo a OECD (2008) e a European Commission (2016) estes cuidados se resumem a: a) seleção da técnica de normalização adequada respeitando as propriedades dos dados e a conjuntura teórica; b) discussão dos outliers que podem estar presentes nos dados dos indicadores, pois podem se tornar referenciais não intencionais; c) realização de possíveis ajustes de escalas; e d) transformação de escalas de dados com distorções. O processo de normalização dos dados, na medida que ocorre, pode aumentar a probabilidade de erro ou incerteza na medição (Hudrlíková & Kramulová, 2013). Sendo assim, Talukder et al. (2017, p. 3) reforçam que a escolha da “[...] técnica de normalização adequada é indiscutivelmente importante”.

### 1.2.2 Ponderação

A ponderação é um método que atribui pesos iguais ou diferentes a conjuntos de dados dos indicadores (Moldan et al., 2004; Singh et al., 2012). Estes pesos influenciam na geração do índice de sustentabilidade e os pesos podem ser atribuídos aos dados dos indicadores com maior/menor importância (Mikulic et al., 2015). Giannarakis, Galani, Georgia, e Litinas (2010) salientam que a ponderação possui duas abordagens na atribuição do peso aos indicadores: a) a ponderação afeta o desempenho total do índice, sendo assim, cada indicador pode ser ponderado mediante julgamentos objetivos e subjetivos, e afeta o desempenho do índice de forma distinta; e

<sup>1</sup> Kg, litros, toneladas, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, reais, entre outros.

b) utiliza pesos iguais ao conjunto de indicadores, sendo assim, todos os indicadores afetam de igual importância o índice de sustentabilidade.

No processo de formação do índice de sustentabilidade (Figura 1) podem ser introduzidos pesos implícitos durante a normalização dos dados dos indicadores e, além disso, pesos explícitos podem ser introduzidos durante o processo de agregação (Booyesen, 2002). Sharpe e Andrews (2012) enfatizam que quando os dados da ponderação não estão disponíveis utiliza-se a técnica dos pesos iguais, sendo assim, em função disto a maioria dos índices disponível na literatura tem a ponderação com base nos pesos iguais. A escolha da abordagem de ponderação deve considerar as seguintes premissas (Ray, 2008; Nardo et al., 2005; OECD, 2008): a) o fundo teórico e a razão lógica na qual as características dos dados dos indicadores está fundamentada e as consequências em relação ao índice; b) o significado e a contribuição da ponderação no índice; c) a qualidade dos dados dos indicadores e a adequação estatística dos indicadores no processo de normalização; d) se a compensação entre os indicadores pode ser realizada; e e) se as questões de correlação entre os dados dos indicadores deve ser considerada.

O processo de ponderação é considerado complexo (Zheng et al., 2013) e subjetivo (Pissourios, 2013). Neste sentido, independentemente da técnica de ponderação utilizada é considerada essencialmente juízo de valores e pode variar de consistência dependendo a técnica utilizado na ponderação (pesos iguais ou diferentes) (Jacobs et al., 2004; Mikulic et al., 2015; Pissourios, 2013). OCDE (2008) destaca que se o objetivo do índice vincula-se na definição das melhores prática ou na escolha das prioridades, estes pesos da ponderação tem a necessidade de alterarem ao longo do tempo.

### 1.2.3 Agregação

O processo de agregação é a condensação dos dados dos indicadores, que passaram pelo processo de normalização e ponderação (Figura 1), em um único item de informação, denominado de índice (Boulanger, 2008; Zheng et al., 2013). A agregação dos dados dos indicadores é um desafio compartilhado com problemas do uso intensivo de dados, pois geram uma variedade de exploração de tentativa de redução e agregação (Mayer, 2008). As diferentes técnicas de agregação geram índices de sustentabilidade divergentes e pode haver a perda de informação (Singh et al., 2012; Zhou et al., 2006). Dessa forma, a existência de várias técnicas de agregação dificulta a escolha do mais adequado (Tran, O'Neill, Smith, & Knight, 2007).

A agregação pode ocorrer mediante três opções (Lindholm, Greator, & Paruch, 2007): 1) a não agregação, caso os indicadores satisfaçam as necessidades de forma separada; 2) a agregação em dimensões (ambiental, social e econômica) e, para cada uma das dimensões, apurar um subíndice; 3) com base na opção 1 ou 2, os indicadores são ponderados e agregados em um índice geral. As opções de agregação se classificam em aditiva, geométrica e análise multicritério (Talukder et al., 2017). Sharpe (2004) salienta que a principal objeção à agregação está relacionada a natureza arbitrária da sistemática da escolha do processo de ponderação.

Jollands (2006) aponta dois critérios essenciais na seleção de um índice: a) Critérios teóricos: são as bases teóricas, as contradições filosóficas, a apropriada normalização, ponderação dos dados dos indicadores, entre outros; e b) Critérios pragmáticos: relaciona-se a disponibilidade de dados e informações, a clareza da mensagem transmitida pelo índice, a relevância política, entre outros. A etapa da integração ou agregação deve ser a mais simples possível, pois facilita na compreensão e evita o risco da ininteligibilidade frente aos tomadores de decisões (Andreasen, O'Neill, Noss, & Slosser, 2001). O processo de agregação também é considerado um passo limitante em função da complexidade e amplitude do sistema estudado, pois a tentativa de descrição dos dados de vários indicadores em um único número é qualquer tentativa de descrição com um único número é jocoso, arbitrário e enganoso (Andreasen et al., 2001).

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A tipificação desta pesquisa é qualitativa mediante uma revisão sistemática de literatura. A revisão sistemática é uma metodologia rigorosa e verificável, e reduz uma possível tendência dos resultados da pesquisa (Sampaio & Mancini, 2007). A estrutura da revisão sistemática, segundo estes autores, consiste nas seguintes etapas, a saber,

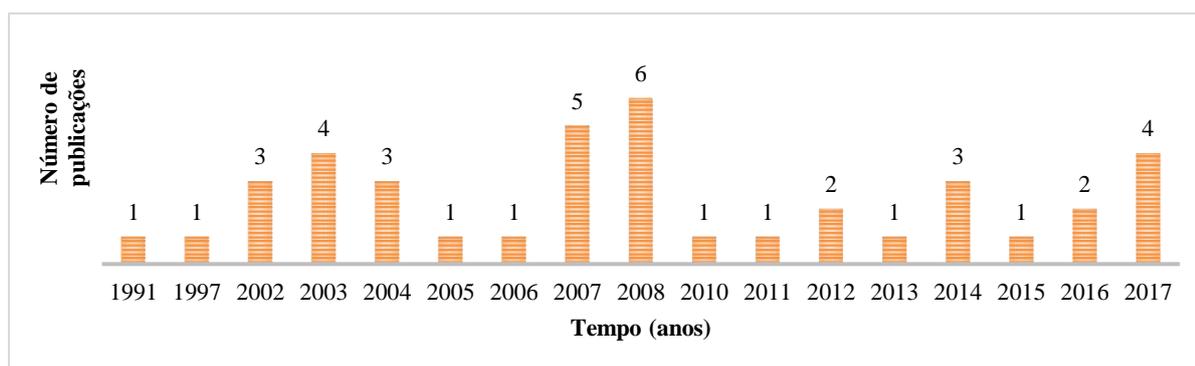
a definição do objetivo da pesquisa; a escolha das palavras chave e da base de dados; a seleção dos estudos avaliando títulos e resumos; a tabulação das informações dos artigos selecionados; e a apresentação dos resultados. Estas etapas foram utilizadas ao longo da pesquisa e na sequencia apresenta-se o seu detalhamento.

O objetivo da pesquisa foi a análise crítica do processo estrutural dos (sub)índices de sustentabilidade, em relação as principais críticas e benefícios. As palavras chave utilizadas nesta revisão sistemática relacionam-se a “*composite indicators*” “*index*” “*sustainability*” “*aggregation*” “*normalization*” “*advantages*” “*disadvantages*”. Este conjunto de palavras chave inserido na base de busca tem o caráter de buscar os materiais científicos que possuem todas as palavras, ou seja, cada material selecionado na busca possui intrinseco estas expressões. A seleção destes palavras ocorreu por meio de tentativas na base de busca e utilizou-se o conjunto de expressões que apresentou maior gama de materiais científicos selecionados. As palavras chave foram utilizadas apenas na língua inglesa, pois cerca de 85% das produções científicas, em nível global, estão em inglês (Schütz, 2018). As palavras chave foram inseridas nas bases de consultas dos periódicos e retornaram com os seguintes resultados, a saber, *Google Scholar* (207), *Science Direct* (65), *Springer Link* (139) e *Wiley Online Library* (435).

A coleta e a leitura prévia destes materiais científicos ocorreu no período de maio a julho de 2018 e foram coletados um total de 846 títulos científicos, e estes foram lidos previamente, em especial, o *title e o abstract*. Esta leitura inicial foi realizada com a intenção de selecionar a literatura científica com potencial de estarem aderentes aos seguintes critérios de inclusão nesta pesquisa: a) publicações científicas com avaliação de pares; b) os materiais devem ser *papers* e capítulos de livro publicados em periódicos; c) terem em sua essência discussões relacionadas ao processo estrutural de índice de sustentabilidade; e d) demais órgãos normalizadores com reconhecimento científico sobre a estruturação de índices.

A identificação desta aderência aos critérios de inclusão gerou um conjunto de 82 *papers*, os quais, no período de agosto a outubro de 2018, foram lidos integralmente quanto ao seu conteúdo e referências. As referências foram lidas mediante a observância da técnica *snowballing*, que consiste na recuperação de publicações que não foram identificados com a utilização das palavras chave (Jalali & Wohlin, 2012). Neste sentido, esta técnica recuperou mais 32 *papers* e perfazendo um total de 118. Estes 32 *papers* também foram lidos na íntegra na qual foi analisado a cientificidade e, nesta excluiu-se 78, sobrando assim, um escopo final que foram utilizada na tabulação das vantagens e desvantagens das etapas da estrutura conceitual de 40 materiais científicos. A distribuição temporal destes 40 materiais científicos selecionados estão apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1: Distribuição temporal dos materiais científicos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabulação das informações destes *papers* ocorreu mediante uma planilha eletrônica contendo as informações a serem coletadas, tais como: a) Autor e ano; b) Metodologia da elaboração do índice; c) Técnicas relacionadas a cada metodologia; d) Críticas/desvantagens; e e) Vantagens/benefícios. O tipo de análise das informações coletadas dos *papers* ocorreu por meio da interpretativa (Severino, 2007), que consiste na finalidade de sintetizar as informações textuais para auxiliar na compreensão aprofundada dos resultados. E por fim, realizou-se uma análise crítica na qual posiciona-se frente as informações analisadas descrevendo as vantagens e desvantagens de cada método e técnica relacionados a estruturação de um (sub)índice de sustentabilidade. As

limitações do método empregado nesta pesquisa relacionam-se com as palavras chaves utilizadas que podem restringir a quantidade de materiais identificados, além disso, foi pesquisado apenas em língua inglesa.

Entretanto, destaca-se que estas limitações foram mitigadas ao longo do processo da pesquisa, conforme descrito nesta seção, para apresentar resultados representativos dos estudos científicos relacionados ao tema em tela.

### 3 RESULTADOS E ANÁLISES

#### 3.1 Análises das técnicas de normalização

As técnicas relacionadas ao método de normalização utilizados na formação do índice de sustentabilidade, conforme apresentado no Quadro 1, sintetizam-se em 12, as quais apresentam seu conceito, as vantagens e desvantagens. As técnicas de normalização tais como o *Rankings*<sup>2</sup>, *Percentage difference from leader (Distance to a reference)*, *Transformations to a categorical scale*, *Number of indicators above the mean minus number below the mean* e *Divide by the largest value* possuem as vantagens de serem fáceis, simples, compreensíveis e independência em relação aos *outliers*. Entretanto, estas técnicas possuem desvantagens em relação a perda de informações e dados e a elevada subjetividade no processo de normalização.

Quadro 1 – Técnicas de normalização e suas características

Técnicas	Vantagens e desvantagens
<b>Rankings:</b> Substitui as medidas por uma classificação de ordem de importância mediante posições ordinais.	<b>Vantagens:</b> Simples e independência frente a <i>Outliers</i> . Acompanha o desempenho ao longo do tempo. <b>Desvantagens:</b> Perda de informação em nível absoluta e elevada subjetividade.
<b>Normalising or standardising to a z-score:</b> Converte os indicadores a uma distribuição normal, com média zero e desvio padrão 1.	<b>Vantagens:</b> Menos subjetivo que o <i>ranking</i> , sem distorção da média e a saída é adimensional. <b>Desvantagens:</b> <i>Outliers</i> afetam o índice, há perda da proporcionalidade e elevada subjetividade.
<b>Min-max ou Re-scaled values:</b> Distância entre os piores e melhores desempenhos, compreendem entre 0 e 1. Redimensiona os dados em diferentes intervalos com base nos valores mínimo e máximo.	<b>Vantagens:</b> Definição de limites e os intervalos são idênticos para todos os indicadores (0, 1). <b>Desvantagens:</b> <i>Outliers</i> afetam o índice e o distorcem mais que o Z-score. O intervalo de <i>max</i> e <i>min</i> influencia na saída final dos dados. A diferença na variância não é eliminada.
<b>Percentage difference from leader ou Distance to a reference:</b> Atribui um valor 100 a unidade líder do indicador, e o valor do indicador é dividido pelo valor do alvo.	<b>Vantagens:</b> Fácil manipulação e entendimento, e facilita a agregação geométrica, pois não gera nenhum valor zero. <b>Desvantagens:</b> <i>Outliers</i> afetam o índice. São diretamente dependentes de valores extremos que podem refletir apenas erros nos dados de entrada.
<b>Transformations to a categorical scale:</b> Atribui a cada indicador uma escala categórica qualitativa ou quantitativa.	<b>Vantagens:</b> Processo é simples e fácil e não é afetado por <i>outliers</i> . <b>Desvantagens:</b> Altamente subjetivo, pois os limites são arbitrários e há perda de informações.
<b>Number of indicators above the mean minus number below the mean:</b> Número de indicadores abaixo e acima da média.	<b>Vantagens:</b> Simples e fácil e robusto frente aos <i>Outliers</i> . <b>Desvantagens:</b> Perda de informação do nível de intervalo. A arbitrariedade do nível de limiar e a omissão de informações de nível absoluto.
<b>Logarithmic transformation:</b> Aplica o <i>Log</i> nos dados dos indicadores para transformar os dados distorcidos em conformidade com a normalidade.	<b>Vantagens:</b> Processo é fácil e simples. <b>Desvantagens:</b> Valoriza os indicadores com baixo desempenho, a transformação pode distorcer a distribuição ainda mais em relação aos dados originais.
<b>Ratio/percentage difference from the mean:</b>	<b>Vantagens:</b> Fácil manipulação e entendimento.

<sup>2</sup> O nome das técnicas de cada um dos métodos de normalização, ponderação e agregação foram deixados na língua inglesa, pois como são expressões utilizadas e reconhecidas em nível mundial facilita a identificação e busca de novas informações por pesquisadores e gestores.

Atribui a média 100 na unidade do indicador e avalia sua distância.	<b>Desvantagens:</b> <i>Outliers</i> afetam o índice.
<b>Percentage of annual differences over time or Balance of opinions:</b> Atribui o valor ao indicador de acordo com a variação percentual.	<b>Vantagens:</b> Simples e fácil de entender. <b>Desvantagens:</b> Dados dos indicadores são sensíveis à técnica de normalização, perda do nível de intervalo da informação, sensibilidade a <i>outliers</i> , escolha arbitrária de pontuações categóricas e sensibilidade à ponderação.
<b>Dividing by the total:</b> Soma-se todos os dados/valores e divide-se cada um deles pelo total.	<b>Vantagens:</b> Mantem-se a proporcionalidade. Os valores normalizados são idênticos ao original. Fácil e entendível. <b>Desvantagens:</b> Não é uma interpretação significativa e há sensibilidade a <i>outliers</i> .
<b>Divide by the largest value:</b> Expressa cada valor como uma porcentagem da maior pontuação.	<b>Vantagens:</b> Simples e fácil. <b>Desvantagens:</b> são dependentes de <i>outliers</i> que podem refletir erros nos dados de entrada.
<b>Cyclical indicators:</b> Combinam um conjunto de séries temporais e em indicadores compostos cíclicos.	<b>Vantagens:</b> Transparência e clareza do processo. <b>Desvantagem:</b> Necessita de uma série temporal ao longo do tempo e elimina dados considerados <i>outliers</i> .

**Fonte:** Elaborado pelo autor com base em Freudenberg (2003), Booyesen (2002), Sharpe (2004), Jacobs et al. (2004), Saisana e Tarantola (2002), Nardo et al. (2005), OECD (2008), Bohringer e Jochem (2007), Boulanger (2008), Talukder et al. (2017), Tofallis (2014), Blanc, Friot, Margni, & Jolliet (2008), European Commission (2016), Mayer (2008), Gan et al. (2017), Romero e Linares (2014), Pollesch e Dale (2016), Lindholm et al. (2007), Munda e Nardo (2003).

As técnicas *Normalising or standardising to a z-score*, *Logarithmic transformation*, *Cyclical indicators*, são robustas frente aos *outliers*, mas não solucionam o problema e, além disso, estas técnicas não são utilizadas no cotidiano dos gestores, então tornam-se mais difíceis e menos práticas, em relação ao domínio de uso. O ideal é que os dados estejam em apenas uma unidade de medida e sendo assim, não haveria a necessidade de utilizar o processo de normalização dos dados, também discutido em OECD (2008). Entretanto, a questão interdisciplinar no processo de *triple Bottom Line* e observando as características essenciais da sustentabilidade há uma implicação no uso da mesma métrica.

A escolha das técnicas de normalização dependem do tipo de dados e a sua disponibilidade, pois no uso da *Cyclical indicators*, *Number of indicators above the mean minus number below the mean* e a *Percentage of annual differences over time or Balance of opinions* é necessário a disponibilidade de uma série temporal de dados, em meses ou anos, pois caso contrário há uma insuficiência de informações (dados) para a realização do cálculo de normalização. Os tipos de dados à disposição, por exemplo, se conterem dados com *outliers* ou as métricas originais dos dados, podem influenciar na eficiência do processo de normalização. Sendo assim, a escolha da técnica apropriada não é trivial e merece uma atenção especial, o que também é corroborado pela Nardo et al. (2005) e European Commission (2016).

A normalização dos dados de indicadores de sustentabilidade, *a priori*, deve ser realizada com base em uma simulação com todas as técnicas de normalização apresentadas no Quadro 1. Portanto, com base nesta simulação o elaborador deve analisar os resultados gerados pelo processo de normalização e definir a técnica de normalização que apresentou maior eficiência, ou seja, os dados normalizados mais condizentes com a realidade e menor distorção possível. Esta eficiência pode ser analisada considerando-se a menor possibilidade de perda da informação, a subjetividade, maior independência aos *outliers*, entre outros. Estas características são consistentes com o que na literatura é apresentado como quadro teórico e as propriedades das informações (OECD, 2008).

Os resultados da aplicação das técnicas de normalização, ou seja, os dados normalizados, e as próprias características dos dados dos indicadores, possuem influencia na composição dos indicadores agregados (índices). Esta reflexão também foi defendida em Talukder et al. (2017), os quais salientam que as técnicas de normalização definidas como mais adequadas devem ter um marco metodológico transparente e sólido. Portanto, considerando estas análises percebe-se que o uso das técnicas de normalização, para gerarem resultados eficientes, são dependentes das características apresentadas pelos dados a serem normalizados, em especial, em relação aos *outliers*.

As vantagens, em especial, relacionam-se com a facilidade, simplicidade, entendimento e a transparência das técnicas de normalização e as desvantagens relacionam-se aos *outliers*, perda de informação e a subjetividade. Em suma, a análise das vantagens e desvantagens das técnicas de normalização é uma etapa (primeira) do

processo de elaboração do índice, mas reitera-se que as características dos dados também são fundamentais e que podem determinar a definição de uma técnica específica de normalização.

### 3.2 Análises das técnicas de ponderação

As técnicas de ponderação dos dados de indicadores de sustentabilidade estão classificadas em dois grupos (Quadro 2): a) pesos igualitários (*Equal weighting*) para todos os indicadores e (sub)indicadores; e b) pesos distintos para os indicadores: estes podem ser categorizados em opiniões ou participativos e em estatísticos (demais técnicas apresentadas no Quadro 2). Os grupos e as categorias relacionadas as técnicas de ponderação possuem características distintas.

Quadro 2 – Técnicas de Ponderação e suas características

Técnicas	Vantagens e Desvantagens
<b>Equal weighting:</b> Os indicadores e (sub)índices possuem a mesma importância. Os pesos iguais são indicados quando não há motivos estatísticos ou empíricos na utilização de outro método.	<b>Vantagens:</b> Simplicidade, replicáveis e diretos. Todos os indicadores são igualmente importantes. <b>Desvantagens:</b> A dupla contagem de indicadores similares ou correlacionados estatisticamente.
<b>Public opinion:</b> Os pesos são sugeridos pelo público em geral ao invés de especialistas. Os entrevistados atribuem muita ou pouca preocupação aos indicadores, ou seja, enfocam a noção de “preocupação”, sobre certos problemas medidos pelos indicadores básicos.	<b>Vantagens:</b> Envolvimento com temas da agenda política e facilita a expressão da preferência dos <i>stakeholders</i> . <b>Desvantagens:</b> Subjetividade e arbitrariedade. Ausência de definição do número de <i>stakeholders</i> participantes. Dificuldade na medição da “preocupação” dos <i>stakeholders</i> .
<b>Budget allocation:</b> Participação de especialistas nas áreas foco, com alto grau de conhecimento, preocupação e experiência sobre o tema. Estes especialistas ganham <i>n</i> pontos a serem atribuídos entre os indicadores, circulando a maior despesa com os de maior importância.	<b>Vantagens:</b> Consulta a especialistas e a não manipulação técnica. As opiniões dos especialistas aumentam a consistência e legitimidade dos pesos. <b>Desvantagens:</b> Subjetividade e arbitrariedade. Os pesos refletem condições locais. A utilização de mais de 10 indicadores pode apresentar inconsistências e problemas cognitivos aos especialistas.
<b>Analytic Hierarchy Process (AHP):</b> Os pesos são atribuídos com base na importância dos indicadores de 1 a 9, por pareceres de especialistas mediante sua opinião extraídas na comparação de pares, incluindo neste processo de avaliação aspectos qualitativos e quantitativos.	<b>Vantagens:</b> A participação de especialistas de distintas áreas. Utilização para dados qualitativos e quantitativos. Transparência do processo. <b>Desvantagens:</b> É subjetiva e arbitrária, o limite máximo é a combinação de 10 indicadores e o uso de elevado números de indicadores causa problemas de cognição.
<b>Distance to the target:</b> Os pesos são determinados pela necessidade de intervenção política e a urgência de um problema apresentado por meio de indicador. A urgência é elevada se estiver longe da meta e baixa se a meta for quase alcançada.	<b>Vantagens:</b> A utilização de metas políticas contribui com a consistência e solidez na ponderação. <b>Desvantagens:</b> Há dificuldade em comparações internacionais em função da disponibilidade das políticas de referência.
<b>Principal Component Analysis (PCA)</b> examina a estrutura de correlação de grupos de variáveis e a <b>Factor Analysis (FA)</b> é um método complementar com o objetivo de examinar as relações entre os indicadores. Esta técnica agrupa indicadores que são colineares em função da correlação. A ponderação intervém para corrigir a informação sobreposta de dois ou mais indicadores correlacionados.	<b>Vantagens:</b> Não manipulação dos pesos por opiniões e promove a solução do problema da dupla contagem. <b>Desvantagens:</b> Os dados com unidades comparáveis. Não é uma medida de importância do indicador, mas de correlação. Apenas utiliza-se em indicadores correlacionados. A sensibilidade na alteração de dados base, <i>outliers</i> , pequenas amostras e dados incompletos e correlações.
<b>Data Envelopment Analysis (DEA) e Benefit of the Doubt:</b> Os pesos são atribuídos pela distância entre os indicadores apurados pela programação linear que identifica a fronteira da eficiência do conjunto de indicadores. São definidos como a relação entre o desempenho real e o desempenho de referência.	<b>Vantagens:</b> O <i>benchmarking</i> oferece uma medida de desempenho em dados reais, facilita a interpretação dos dados, respeita as características individuais dos indicadores. <b>Desvantagens:</b> A classificação dos indicadores em dois grupos (eficazes e ineficazes), porém na maior parte os dois são essenciais.

<p><b>Regression approach:</b> A regressão linear e múltipla são estimados para determinar os pesos relativos dos indicadores. Essa abordagem pode ser útil na verificação e ajuste dos pesos.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Pode ser usado mesmo se os indicadores de componente não estiverem correlacionados. Não implica na manipulação de pesos através de restrições <i>ad hoc</i>.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Fornece resultados ruins quando os indicadores são correlacionados.</p>
<p><b>Unobserved components model:</b> São obtidos por meio da estimativa com o método de máxima verossimilhança e o peso obtido será ajustado de forma a minimizar o erro no índice. Esta técnica pode ser vista como uma medida da precisão do índice, o que o torna útil para construir intervalos de confiança.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Os pesos não dependem de restrições <i>ad hoc</i>.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Confiabilidade e robustez dos resultados dependem da disponibilidade de dados suficientes. Com indicadores altamente correlacionados pode ter problemas de identificação.</p>
<p><b>Conjoint analysis:</b> Solicita uma avaliação (uma preferência) sobre um conjunto de cenários alternativos (um cenário pode ser considerado como um determinado conjunto de valores para os (sub)indicadores. Embora essa metodologia use análise estatística para tratar dados, ela opera com pessoas (especialistas, políticos, cidadãos, entre outros).</p>	<p><b>Vantagens:</b> Obtém pesos com o significado de <i>tradeoffs</i>. Leva em conta o contexto sociopolítico e os valores dos entrevistados.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Depende da amostra do respondente escolhido e de como as perguntas são enquadradas. Requer uma grande amostra de respondentes e cada respondente pode ser obrigado a expressar um elevado número de preferências. O processo de estimativa é complexo.</p>
<p><b>Cronbach alpha:</b> Utilizado para verificar a consistência com a qual um índice mensura um conjunto de indicadores, ou seja, um coeficiente de <math>\alpha \geq 0,80</math> é uma evidência de que o índice mede de forma eficiente os indicadores.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Grau de eficiência que os índices representam os indicadores.</p> <p><b>Desvantagens:</b> A multidimensionalidade dos indicadores apresenta um coeficiente alfa baixo.</p>

**Fonte:** Elaborado pelo autor com base em Saisana e Tarantola (2002), Booyesen (2002), Nardo et al. (2005), Sharpe (2004), Mayer (2008), Bohringer e Jochem (2007), Cherchye et al. (2007), OECD (2008), Saisana (2011), Jacobs et al. (2004), Freudenberg (2003), Pissourios (2013), Reisi et al. (2014), Murias, Miguel, e Rodríguez (2008), Moldan e Billharz (1997), Parker (1991), Gan et al. (2017), Decancq e Lugo (2008), Singh et al. (2007), Becker et al. (2017), Romero e Linares (2014), Mikulic et al. (2015), Giannarakis et al. (2010), Sharpe e Andrews (2012), Boulanger (2008), Lindholm et al. (2007), Blanc et al. (2008), Munda e Nardo (2003).

A *Equal weighting* é a técnica de ponderação mais simples, fácil de aplicação e de estruturação, mas apresenta a desvantagem de beneficiar indicadores com dupla contagem. Esta técnica é a mais comumente utilizada para ponderar os índices de sustentabilidade, porém apesar desta utilização ela está longe de ser incontroversa, segundo Decancq e Lugo (2008). Além disso, Chowdhury e Squire (2006, p. 762) consideram o *Equal weighting* como "[...] obviamente conveniente, mas também universalmente considerada errada". Em suma, *Equal weighting* em nenhum sentido são neutros, sendo assim, podem ser questionados por razões éticas e não explicitam os pressupostos subjacentes, o que também é defendido por Decancq e Lugo (2008).

A determinação dos pesos com base na categoria opiniões ou participativos (*Public opinion, Budget allocation, Analytic Hierarchy Process (AHP) e Distance to the target*) são aceitáveis em função da participação da comunidade ou especialistas no processo de ponderação. Entretanto, são consideradas subjetivas e arbitrárias em função dos pesos serem atribuídos pela percepção e ideologia de cada participante. Neste sentido, Decancq e Lugo (2008) enfatizam que a definição dos pesos é um assunto delicado e reflete juízos de valores.

As técnicas categorizados em estatísticas (*Principal Component Analysis (PCA), Factor Analysis (FA), Data Envelopment Analysis (DEA), Benefit of the Doubt, Regression approach, Unobserved components model, Conjoint analysis, Cronbach alpha* - QUADRO 2) apresentam a vantagem de não possuir interferência dos *ad hoc*, ou seja, de especialistas ou de *stakeholders* em geral para determinar os pesos, e entendem que isto torna o pesos mais consistentes e viáveis. As desvantagens desta categorias relaciona-se ao uso essencial de ferramentas estatísticas para determinação dos pesos dos indicadores, uma vez que, uma correlação significativa pode não ter coerência com a realidade apresentada pelo indicador e (sub)índice, entre outros.

A análise das técnicas de ponderação revelam vantagens e desvantagens, sendo assim, independente da técnica utilizada o (sub)indicador ainda está sujeito a incertezas quanto a sua consistência e se reflete o cenário real do sistema que está sendo avaliado ou mensurado, o que é corroborado por Dialga e Giang (2017). A escolha de um método de ponderação na construção de um índice requer uma justificativa teórica coerente, acordada e

claramente definida, pois sem a qual o índice de sustentabilidade não teria legitimidade ou transparência (Talukder et al., 2017).

A definição da técnica de ponderação é complexa, pois esta escolha depende do objetivo pelo qual o índice é elaborado, as características dos indicadores que formam o (sub)indicadores, o nível de correlação existente entre os dados dos (sub)indicadores, o gasto com sistemas informatizados, entre outros, sendo estas dificuldades também defendidas por Saisana, Tarantola e Saltelli (2003).

### 3.3 Análises das técnicas de agregação

As técnicas de agregação apresentam diferentes conjecturas, sendo assim, suas consequências são específicas em cada caso (Quadro 3). Nesta lógica, Mazziotta e Pareto (2015) entendem que uma técnica de compensação atua com os desequilíbrios entre dados dos indicadores mediante as equações lineares, já as não compensatórias utilizam equações ajustadas ao equilíbrio.

Quadro 3 – Técnicas de Agregação e suas características

Técnicas	Vantagens e desvantagens
<b>Sum of country rankings:</b> Apura o <i>ranking</i> dos indicadores e depois soma estes <i>rankings</i> . Esta técnica é baseada em níveis ordinais.	<b>Vantagens:</b> A simplicidade do cálculo e a sua independência em relação aos <i>outliers</i> . <b>Desvantagens:</b> A perda de informações de valor absoluto.
<b>Number of indicators above the mean minus the number below the mean:</b> Tem como base o número de indicadores que estão acima e abaixo da média. Esta técnica é utilizada apenas em dados nominais para cada indicador.	<b>Vantagens:</b> A simplicidade do cálculo e a sua independência em relação aos <i>outliers</i> . <b>Desvantagens:</b> A perda de informações em nível de intervalo.
<b>Linear aggregation:</b> A agregação linear pode ser aplicada nos casos em que todos os valores dos indicadores possuem a mesma unidade de medida.	<b>Vantagens:</b> A simplicidade no entendimento do cálculo. <b>Desvantagens:</b> A compensação de valores entre indicadores, nos casos de <i>outliers</i> .
<b>Geometric aggregation (deprivational index):</b> É uma abordagem menos compensatória em relação aos <i>outliers</i> comparado com a média aritmética.	<b>Vantagens:</b> Transparente e simples. Pode ser usado para todos os tipos de variáveis de escala de proporção. <b>Desvantagens:</b> Índices significativos são gerados apenas com dados são expressos em escala de intervalo parcialmente comparável.
<b>Média aritmética:</b> É uma equação linear. Os indicadores que passaram pelo processo de ponderação e normalização tem os seus valores somados.	<b>Vantagens:</b> A simplicidade do cálculo. <b>Desvantagens:</b> A compensação de valores entre indicadores, nos casos de <i>outliers</i> .
<b>Ratio or percentage differences from the mean:</b> Utiliza a média das porcentagens em torno da média para cada indicador, e depois são somados e dividido pelo número de indicadores.	<b>Vantagens:</b> Aceita o cálculo para mudanças no índice ao longo do tempo. <b>Desvantagens:</b> É menos robusto quando há <i>outliers</i> . Apenas pode ser utilizado quando os pesos são iguais.
<b>Percentage of annual differences over consecutive years:</b> Nesta técnica os dados dos valores dos indicadores são substituídos pelas diferenças dos valores entre os anos (atual-anterior) e divididos pelo valor no ano anterior.	<b>Vantagens:</b> Normalização que corresponde à diferença entre os valores dos diferentes anos, ao invés da utilização do valor absoluto. <b>Desvantagens:</b> A disponibilidade dos dados num período sequencial de períodos.
<b>Standardized values:</b> o indicador composto é baseado nos escores padronizados ( <i>escores z</i> ) para cada indicador, o que equivale à diferença no indicador para cada país e à média, dividido pelo erro padrão.	<b>Vantagens:</b> Possui maior consistência em relação aos <i>outliers</i> do que o <i>Ratio</i> ou <i>percentage differences from the mean</i> . <b>Desvantagens:</b> Atribui maior peso aos indicadores com <i>outliers</i> .

<p><b>Re-scaled values:</b> esta técnica é semelhante ao <i>Standardized values</i>, exceto pelo fato de usar valores redimensionados dos indicadores.</p>	<p><b>Vantagens:</b> as pontuações padronizadas dos dados dos indicadores possuem intervalos semelhantes, sendo assim, mais robusto quando há <i>outliers</i> e melhor que o <i>Standardized values</i>.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Os indicadores com reduzida variação são atribuídos maiores pesos.</p>
--	---

**Fonte:** Elaborado pelo autor com base em Booyesen (2002), Saisana e Tarantola (2002), Nardo et al. (2005), Jacobs et al. (2004), Sharpe (2004), Mayer (2008), Bohringer e Jochem (2007), OECD (2008), Singh et al. (2012), Gan et al. (2017), Cardona et al. (2004), Saisana (2011), Pollesch e Dale (2016), Talukder et al. (2017), Saisana et al. (2003), Romero e Linares (2014), Jollands et al. (2003), Boulanger (2008), Tran et al. (2007), Lindholm et al. (2007), Jollands (2006), Dialga e Giang (2017), Munda e Nardo (2003).

As análises das técnicas de agregação nos revela que todas possuem vantagens e críticas quanto ao seu uso, sendo assim, percebe-se que o uso destas técnicas depende dos requisitos e finalidades dos índices. Ao encontro desta reflexão Talukder et al. (2017) defendem que não existe uma técnica de agregação ideal e aceita de forma universal. Nardo et al. (2005) percebem que é reponsabilidade do projetista na escolha de técnicas de agregação adequadas na determinação do índice de sustentabilidade, além disso, estas técnicas devem ter uma base metodológica sólida e transparente.

As técnicas de agregação podem ser classificadas em aditivas, geométricas e de multicritério. As técnicas aditivas (*Sum of country rankings*, *Number of indicators above the mean minus the number below the mean*, Média aritmética e *Linear aggregation*), possuem a vantagem da simplicidade. Entretanto, seu processo pode provocar perda de informações, em nível absoluto, restrições na interpretação dos pesos e não deve haver conflitos ou sinergias entre os indicadores, sendo esta uma forte condição para a utilização das técnicas aditivas no processo de agregação. European Comission (2016) concorda com estas constatações e afirma que a preferência por independência dos indicadores é uma condição robusta, pois pode gerar trocas de pesos (*trade off*) entre os indicadores.

A técnica de agregação geométrica admite uma menor compensação de pesos entre os indicadores, quanto as técnicas aditivas, mas não exclui a compensação. Sendo assim, as taxas de substituição dos pesos entre os indicadores, na técnica geométrica ou aditiva são iguais, ou seja, um indicador com valores desfavoráveis pode ser compensado pelo valor de outro indicador favorável, o que corrobora com Munda e Nardo (2003).

As técnicas multicritério promovem uma melhor decisão para o curso de uma ação em determinado problema, testando todas as possíveis consequências para uma melhor decisão possível, com a inserção da incerteza (Konidari & Mavarakis, 2007). As técnicas de multicritério utilizadas na elaboração de um índice de sustentabilidade estão descritas na seção 4.3.1.

### 3.3.1 Análises das técnicas de multicritério de agregação

A técnica multicritério de agregação objetiva solucionar o conflito existente na agregação aditiva e geométrica relacionada a compensação dos pesos dos indicadores. Estas técnicas não se utilizam de processos de normalização, ponderação e agregação, pois o processo de multicritério de agregação abrange o processo completo, sendo assim, pode-se entender que são duas lógicas distintas de estruturação de índice. O Quadro 4 apresenta as principais técnicas de multicritérios utilizadas em estudos vinculados a índices de sustentabilidade.

**Quadro 4 -** Técnicas de multicritérios e suas características

<p><b>Multi attribute utility theory (MAUT):</b> Requer a identificação de funções de utilidade e pesos para cada atributo que pode ser montado em um critério único de sintetização.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Consistência científica na entrada de dados qualitativos e quantitativos. Sua utilização e entendimento são fáceis, considera a incerteza e incorpora preferencias.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Necessita de elevada entrada de dados e o processo é demorado.</p>
---	---

<p><b>Analytical Hierarchy Process (AHP):</b> Avalia os critérios tangíveis e intangíveis em termos relativos mediante uma escala absoluta. O resultado desta técnica é um valor entre 0 e 1, onde os pesos indicam as compensações entre os critérios. Inclui comparação de pares de diferentes alternativas para diferentes critérios.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Consistência científica na entrada de dados qualitativos e quantitativos, fácil de usar, flexível, intuitivo e verifica inconsistências. Clareza da importância de cada elemento. <b>Desvantagens:</b> Irregularidades no <i>ranking</i>, problemas devido à interdependência entre critérios e alternativas e a perda de informações importantes.</p>
<p><b>Elimination and Choice Expressing The Reality (ELECTRE):</b> É uma abordagem de superação, pois visam avaliar se a opção A é pelo menos tão boa quanto a B. Soluciona a melhor escolha com o máximo de vantagem e menor conflito na função de vários critérios.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Possui consistência científica quanto a entrada de dados qualitativos e quantitativos. <b>Desvantagens:</b> Sua utilização e entendimento é difícil e demorada em função do elevado número de parâmetros que devem ser definidos.</p>
<p><b>Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE):</b> Possui como base a comparação mútua de cada par de alternativas em relação a cada um dos critérios selecionados.</p>	<p><b>Vantagens:</b> O debate e a construção de consenso, lida com critérios qualitativos e quantitativos e com informações incertas e imprecisas. <b>Desvantagens:</b> Sofre com a inversão de classificação na introdução de nova alternativa. Complicada e difícil de explicar aos não-especialistas.</p>
<p><b>Dominance-based Rough Set Approach (DRSA):</b> Capaz de gerenciar dificuldades de classificação, seleção e pontuação. Permite a representação e análise de todos os fenômenos que envolvem a relação de monotonicidade entre medidas ou percepções específicas.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Pode utilizar dados quantitativos, qualitativos, incompletos e inconsistentes e sua utilização e entendimento são fáceis. <b>Desvantagens:</b> Limitada em função de experiências anteriores e sofre de problemas de reversão de classificação.</p>
<p><b>Fuzzy Theory:</b> Esta técnica permite resolver problemas relacionados com dados imprecisos e incertos. Classifica as soluções e encontra a melhor quando o tomador de decisão tem dois ou mais critérios.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Esta técnica permite resolver problemas relacionados com dados imprecisos e incertos. Solução de problemas com elevada complexidade. <b>Desvantagens:</b> Os sistemas difusos podem ser difíceis de desenvolver em função da complexidade e imprecisão dos dados.</p>
<p><b>Technique of Order Preference Similarity to Ideal Solution (TOPSIS):</b> Objetiva a identificação de uma alternativa que localiza-se mais próxima da solução mais adequada e distante da solução ideal.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Simples e fácil. <b>Desvantagem:</b> O uso da distância euclidiana não considera a correlação de atributos. Sua ponderação dos atributos é difícil considerando a coerência de julgamento dos atributos.</p>
<p><b>Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART):</b> Esta técnica tem como base o modelo aditivo linear, ou seja, que o índice é apurado com base na soma total da pontuação dos indicadores multiplicado pelo peso desse critério.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Simples, permite qualquer tipo de técnica de atribuição de peso e menos esforço por tomadores de decisão. <b>Desvantagem:</b> O procedimento pode não ser conveniente considerando a estrutura.</p>
<p><b>Case-Based Reasoning (CBR):</b> Consiste na técnica de solução de problemas com base em dados históricos para solucionar problemas, realizar modificações, e criticar as soluções existentes e explicar questões anômalas.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Não uso intensivo de dados, requer pouca manutenção, pode melhorar com o tempo e pode se adaptar a mudanças no ambiente <b>Desvantagem:</b> Sensível a dados inconsistentes e isso requer muitos casos.</p>
<p><b>Goal Programming (GP):</b> Esta técnica minimiza os desvios entre os objetivos realizados e os desejados, sendo que este objetivo deve ser priorizado em função hierarquia de importância.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Lida com problemas de grande escala de variáveis, restrições e objetivos. Simplicidade e facilidade de uso. <b>Desvantagem:</b> Sua capacidade de ponderar coeficientes e a as soluções não são eficientes.</p>
<p><b>Simple Additive Weighting (SAW) ou Weighted Sum Model (WSM):</b> Técnica que agrega por meio da soma os resultados da decisão controlados por pesos que expressam a importância dos critérios. O SAW utiliza todos os valores de critérios de uma alternativa e as operações aritméticas regulares de multiplicação de somatório.</p>	<p><b>Vantagens:</b> Capacidade de compensar entre critérios, intuitivo para os tomadores de decisão, o cálculo é simples e não requer <i>softwares</i> complexos. <b>Desvantagem:</b> As estimativas reveladas nem sempre refletem a situação real e o resultado obtido pode não ser lógico.</p>
<p><b>Analytic Network Process (ANP):</b> Elabora o problema de decisão a partir do arranjo de diferentes objetivos, critérios e alternativas e emparelha a comparação inteligente dos critérios</p>	<p><b>Vantagens:</b> Independência entre os elementos não é necessária. A previsão é precisa porque as prioridades são melhoradas pelo <i>feedback</i>. <b>Desvantagem:</b> Demorado, incerteza não é suportada e é</p>

para obter a melhor alternativa.	difícil de convencer a tomada de decisão.
<b>Data Envelopment Analysis (DEA):</b> Usado para encontrar a eficiência da combinação de múltiplas entradas e saídas do problema.	<b>Vantagens:</b> Manipulação de múltiplas de entradas e saídas que podem ter unidades distintas. <b>Desvantagem:</b> O erro de medição pode causar problemas significativos e os testes estatísticos não são aplicáveis.
<b>Aggregated Indices Randomization Method (AIRM):</b> Resolve o problema complexo onde ocorre a incerteza que contém informações incompletas para o problema a ser resolvido.	<b>Vantagens:</b> Uso de informações não-numéricas, inexatas e incompletas para resolver problemas. Base matemática transparente garante exatidão e confiabilidade. <b>Desvantagens:</b> Destina-se apenas a estimativas multicritério de objetos complexos sob incerteza.
<b>Weighted Product Model (WPM):</b> Alternativas são comparadas com as outras pelos pesos e proporção de um para cada critério.	<b>Vantagens:</b> Pode remover qualquer unidade de medida e utiliza-se valores relativos. <b>Desvantagens:</b> Nenhuma solução com peso igual nas tomadas de decisões.
<b>Grey Relational Analysis (GRA) ou Grey analysis:</b> Esses métodos lidam com todos os dados incompletos e para superar as deficiências de outros métodos.	<b>Vantagens:</b> Resultados com base em dados originais e os cálculos são simples e fáceis. <b>Desvantagens:</b> Não fornece solução ideal e não identifica claramente a correlação entre as duas sequências.

**Fonte:** Elaborado pelo autor com base em Cardona et al. (2004), Munda e Nardo (2005), Tarabusi e Guarini (2013), Munda (2005), Cinelli, Coles, e Kirwan (2014), Velasquez e Hester (2013), Podinovski (2004), Aruldoss, Lakshmi, e Venkatesan (2013), Asadabadi (2018), Danesh, Ryan, e Abbasi (2017), Diaz-Balteiro et al. (2017), Tofallis (2014), Konidari e Mavrakakis (2007).

As vantagens relacionados ao uso de técnicas de multicritério, em especial, está na consistência técnica em relação aos dados qualitativos e quantitativos, informações com incertezas, simplicidade do cálculo, entre outros. Ao encontro destas vantagens também está Cinelli et al. (2014) quando explicam que as técnicas de multicritério são consideradas adequadas na mensuração da sustentabilidade em função de sua flexibilidade, facilidade no diálogo com os *stakeholders*, utiliza-se de informações de natureza qualitativa e quantitativa, entre outras. Velasquez e Hester (2013) salientam que devido a facilidade de manuseio o uso de diferentes técnicas multicritério se tornou algo comum na estruturação do índice de sustentabilidade.

As desvantagens no uso de técnicas multicritério na elaboração do índice de sustentabilidade, em geral, relacionam-se a demora na aplicação da técnica, a complexidade em função do elevado número de dados e a perda de informação. Sendo assim, Danesh et al. (2017) enfatizam que não existem uma técnica padronizada de multicritério que possa lidar com todos os desafios na agregação de indicadores para a geração de um índice. Asadabadi (2018) salienta que as integrações dos métodos multicritérios fortalecem e capacitam para a abordagem de vários problemas com maior eficácia.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração de um índice de sustentabilidade necessita de um processo transparente e confiável, para que seus resultados sejam eficazes no processo de mensuração da sustentabilidade e do uso desta informação na gestão das organizações. Este estudo objetivou uma análise crítica do processo de elaboração estrutural dos (sub) índices de sustentabilidade, comparando suas principais desvantagens e vantagens.

O processo de elaboração de índice de sustentabilidade (normalização, ponderação e agregação) apresenta fragilidades e benefícios, sendo assim, todas as técnicas devem ser utilizadas com cautela e sua definição deve ser em bases científicos e teóricos. A quantidade de técnicas disponíveis se justifica em função das diferentes abordagens que possuem, e para cada conjunto de dados o processo pode ser distinto, de acordo com as características específicas. As técnicas podem ser utilizadas pelos seus construtores de índices, mas como apresentam fragilidades, estas devem estar descritas em forma de limitações das técnicas. Neste sentido, o utilizador do índice deve tomar as decisões com base nos resultados dos índice de sustentabilidade com cautela e

prudência.

As técnicas multicritério de agregação não apenas agregam os dados dos indicadores, mas realizam todo o processo de elaboração do índice, ou seja, já está intrínseco a normalização, ponderação e a agregação. Neste sentido, as técnicas multicritério podem ser classificadas como um processo de agregação de um conjunto de indicadores em índice de sustentabilidade. A vantagem das técnicas de multicritério é a inclusão das informações com incertezas, ou seja, a incerteza do processo é absorvida pelo processo para gerar um índice mais consistente e confiável. Nota-se uma atração da transformação de conjuntos de indicadores em índice com a utilização de métodos multicritérios, pois são considerados mais consistentes e completos, e além disso, são adequados no uso de um conjunto de dados considerado complexo, com incertezas e até com dados faltantes.

As contribuições teóricas e práticas dos resultados deste estudo centram-se na escolha da técnica mais adequada para a elaboração do índice de sustentabilidade, pois o construtor e o utilizador do índice devem estar cientes de que por mais próximo do adequado ou ideal o resultados do índice chegar, ainda assim, pode estar longe da realidade. Isto significa que mesmo utilizando as técnicas mais adequadas para o conjunto de dados, o construtor do índice pode não conseguir eliminar todos os aspectos limitantes, ou seja, as desvantagens de determinada técnica. A utilização de técnicas de multicritério também não resolvem totalmente as contestações teóricas e práticas, mesmo que há uma tendência de utilizar estes critérios combinados para reduzir as distorções. Além disso, entende-se de que as técnicas multicritério possuem conflitos com as orientações básicas na elaboração de índices de sustentabilidade, por exemplo, a simplicidade do processo, pois são consideradas complexas, ainda mais sendo híbridas.

A originalidade e ineditismo deste estudo relacionam-se ao agrupamento de um documento as principais técnicas utilizadas para a normalização, ponderação e agregação de um conjunto de dados para a elaboração de um índice de sustentabilidade, em especial, na língua portuguesa. Sendo assim, estes resultados provocarão acadêmicos e pesquisadores a repensarem as metodologias e as técnicas envolvidas na elaboração de um (sub)índice de sustentabilidade, para aproximar o resultado mais adequado a realidade do sistema estudado.

## REFERÊNCIAS

- ANDREASEN, K., O'NEILL, R., NOSS, R., & SLOSSER, N. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. *Ecological Indicators*, 1, 21–35, 2001.
- ASADABADI, M. R. The stratified multi-criteria decision-making method. *Knowledge-Based Systems*, 162, 115-123, 2018.
- ARULDOSS, M., LAKSHMI, T. M., VENKATESAN, V. P. A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43, 2013.
- BECKER, W., SAISANA, M., PARUOLO, P., & VANDECASTEELE, I. Weights and importance in composite indicators: Closing the gap. *Ecological indicators*, 80, 12-22, 2017.
- BLANCAS, F. J., GONZALEZ, M., LOZANO, M., & PÉREZ, F., The assessment of sustainable tourism: application to Spanish coastal destinations. *Ecological Indicators*, 10, 484–492, 2010.
- BLANC, I., FRIOT, D., MARGNI, M., & JOLLIET, O. Towards a new index for environmental sustainability based on a DALY weighting approach. *Sustainable Development*, 16(4), 251-260, 2008.
- BOHRINGER, C., & JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable: a survey of sustainability indices. *Ecological Economics*, 63, 1–8, 2007.
- BOOYSEN, F. An overview and evaluation of composite indices of development. *Social Indicators Research*, 59, 115–151, 2002.

BOULANGER, P. M. Sustainable development indicators: a scientific challenge, a democratic issue. *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, 1, 59-73, 2008.

BÜYÜKÖZKAN, G., & KARABULUT, Y. Sustainability performance evaluation: Literature review and future directions. *Journal of environmental management* 217, 253-267, 2018.

CARDONA, O. D., HURTADO, J. E., DUQUE, G., MORENO, A., CHARDON, A. C., VELÁSQUEZ, L. S., & PRIETO, S. D. Disaster Risk and Risk Management Benchmarking: A Methodology Based on Indicators at National Level. IDB/IDEA Program of Indicators for Disaster Risk Management, National University of Colombia, Manizales, 2004.

CASTELLANI, V., & SALA, S. Sustainable performance index for tourism policy development. *Tourism Management*, 1-10, 2009.

CHERCHYE, L., MOESEN, W., ROGGE, N., & PUYENBROECK, T. V. An introduction to ‘benefit of the doubt’ composite indicators. *Social Indicators Research*, 82, 111-145, 2007.

CHOWDHURY, S., & SQUIRE, L. Setting weights for aggregate indices: An application to the commitment to development index and human development index. *The Journal of Development Studies*, 42(5), 761-771, 2006.

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.

DANESH, D., RYAN, M J., ABBASI, A. A systematic comparison of multi-criteria decision making methods for the improvement of project portfolio management in complex organisations. *International Journal of Management and Decision Making*, 16(3), 280-320, 2017.

DAHL, A. L. Achievements and gaps in indicators for sustainability, *Ecological Indicators*, 17, 14-19, 2012.

DECANCQ, K., LUGO, M. A. *Setting Weights in Multidimensional Indices of Well-Being*. OPHI Working Paper 18, University of Oxford, 2008.

DIALGA, I.; GIANG, L. T. H. Highlighting methodological limitations in the steps of composite indicators construction. *Social Indicators Research*, 131(2), 441–465, 2017.

DIAZ-BALTEIRO, L., GONZÁLEZ-PACHÓN, J., & ROMERO, C. Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 607-616, 2017.

ESTY, D. C., LEVY, M. A., SREBOTNJAK, T., & SHERBININ, A. *Environmental Sustainability Index: benchmarking national environmental stewardship*. Yale Center for Environmental Law and Policy, New Haven, Conn, 2005.

EUROPEAN COMMISSION. *10-Step guide for the construction of a composite indicator*. 2016. Recuperado em 15 setembro, 2018, de <https://ec.europa.eu/jrc/en/coin/10-step-guide/step-5#ranking-of-indicators-across-countries>

FEIL, A. A., & SCHREIBER, D. Sustainability and sustainable development: unraveling overlays and scope of their meanings. *Cadernos EBAPE. BR*, 15(3), 667-681, 2017.

FENG, S. C., JOUNG, C., LI, G. Development overview of sustainable manufacturing metrics. In: *Proceedings of the 17th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Hefei, PRC*, 2010.

- FREUDENBERG, M. *Composite Indicators of Country Performance: A Critical Assessment*. STI Working Paper 16. Paris, 2003.
- GAN, X., FERNANDEZ, I. C., GUO, J., WILSON, M., ZHAO, Y., ZHOU, B., & WU, J. When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators. *Ecological Indicators*, 81, 491-502, 2017.
- GIANNARAKIS, G., GALANI, D., GEORGIA, C., & LITINAS, N. The weight of Corporate Social Responsibility indicators in measurement procedure. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 4(6), 765-773, 2010.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A., & SANCHEZ-FERNANDEZ, G. Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecological economics*, 69(5), 1062-1075, 2010.
- HART, M. *Guide to sustainable community indicators* (Second ed.). West Hartford, CT: Sustainable Measures, 2006.
- HUDRLÍKOVÁ, L., KRAMULOVÁ, J. Do transformation methods matter? The case of sustainability indicators in Czech regions. *Adv. Methodol. Stat*, 10, 31-48, 2013.
- JALALI, S., & WOHLIN, C. Systematic literature studies: database searches vs. backward snowballing. In *Proceedings of the ACM-IEEE international symposium on Empirical software engineering and measurement* (29-38). ACM., 2012.
- JACOBS, R. P., SMITH, M., & GODDARD, M. Measuring performance: an examination of composite performance indicators. *Technical Paper Series*, 29. Centre for Health Economics. 2004. Recuperado em 10 outubro, 2018, de <http://www.york.ac.uk/che/pdf/tp29.pdf>.
- JOLLANDS, N., LERMIT, J., & PATTERSON, M. The Usefulness of Aggregate Indicators in Policy Making and Evaluation: a discussion with application to eco-efficiency indicators in New Zealand. *Economics and Environment Network*. Australian National University, 2003.
- JOLLANDS, N. How to aggregate sustainable development indicators: a proposed framework and its application. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 5(1), 18.2006.
- KONIDARI, P., & MAVRAKIS, D. A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. *Energy Policy*, 35(12), 6235-6257, 2007.
- LINDHOLM, O., GREATOREX, J.M., & PARUCH, A. M. Comparison of methods for calculation of sustainability indices for alternative sewerage systems: theoretical and practical considerations. *Ecological Indicators*, 7(1), 71-78, 2007.
- LITMAN, T. *Well measured: developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning*. 2014. Recuperado em 23 agosto, 2018, de <http://www.vtpi.org/wellmeas.pdf>.
- MALKINA-PYKH, I. G. Integrated assessment models and response function models: pros and cons for sustainable development indices design. *Ecological Indicators*, 2(1-2), 93-108, 2002.
- MAZZIOTTA, M., & PARETO, A. Comparing two non-compensatory composite indices to measure changes over time: A case study. *Statistika*, 95, 44-53, 2015.

- MAYER, A. L. Strengths and weakness of common sustainability indices for multidimensional systems. *Environment International*, 34(2), 277-291, 2008.
- MIKULIC, J., KOŽIĆ, I., KREŠIĆ, D. Weighting indicators of tourism sustainability: a critical note. *Ecological Indicators*, 48, 312-314, 2015.
- MOLDAN, B., JANOUŠKOVÁ, S., & HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: indicators and targets. *Ecological Indicators*, 17, 4-13, 2012.
- MOLDAN, B., HÁK, T., KOVANDA, J., HAVRÁNEK, M., & KUŠKOVÁ, P. Composite indicators of environmental sustainability. Invited paper to *Statistics, Knowledge and Policy*: OECD World Forum on Key Indicators. Palermo, Italy, 10–13, 2004.
- MOLDAN, B., & BILLHARZ, S. *Sustainability Indicators: Report of the Project on Indicators of Sustainable Development*. John Wiley, Chichester, 1997.
- MUNDA, G., & NARDO, M. *Constructing Consistent Composite Indicators: The Issue of Weights*; EUR 21834 EN; European Commission: Brussels, Belgium, 2005.
- MUNDA, G. Measuring sustainability: a multi-criterion framework. *Environment, Development and Sustainability*, 7(1), 117-134, 2005.
- MURIAS, P., MIGUEL, J. C., & RODRÍGUEZ, D. A composite indicator for university quality assessment: the case of Spanish higher education system. *Social Indicators Research*, 89, 129-146, 2008.
- MURO, P., MAZZIOTTA, M., & PARETO, A. Composite indices of development and poverty: an application to MDGs. *Social Indicators Research*, 104, 1-18, 2011.
- NARDO, M., SAISANA, M., SALTELLI, A., & TARANTOLA, S. *Tools for Composite Indicators Building*. European Commission, Ispra, 2005.
- NESS, B., URBEL-PIIRSALU, E., ANDERBERG, S., & OLSSON, L. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecol Econ*, 2007, 60, 498-508, 2007.
- OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*, 2008. Recuperado em 19 setembro, 2018, de <http://composite-indicators.jrc.ec.europa.eu/>
- PARKER, J. Environmental reporting and environmental indices. *PhD Dissertation*, Cambridge, UK, 1991.
- PÉREZ, V., GUERRERO, F., GONZÁLEZ, M., PÉREZ, F., & CABALLERO, R. Composite indicator for the assessment of sustainability: The case of Cuban nature-based tourism destinations. *Ecological Indicators*, 29, 316-324, 2013.
- PISSOURIOS, I. A. An interdisciplinary study on indicators: A comparative review of quality-of-life, macroeconomic, environmental, welfare and sustainability indicators. *Ecological Indicators*, 34, 420-427, 2013.
- PODINOVSKI, V. V. Production trade-offs and weight restrictions in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 55(12), 1311-1322, 2004.

- POLLESCH, N. L., & DALE, V. H. Normalization in sustainability assessment: Methods and implications. *Ecological Economics*, 130, 195-208, 2016.
- RAY, A. K. Measurement of social development: an international comparison. *Social Indicators Research*, 86(1), 1-46, 2008.
- RAGAS, A. M. J., KNAPEN, M. J., VAN DE HEUVEL, P. J. M., EIJKENBOOM, R. G. F. T. M., BUISE, C. L., & VAN DE LAAR, B. J. Towards a sustainability indicator for production systems. *Journal of Cleaner Production*, 3(1-2), 123-129, 1995.
- REISI, M., AYE, L., RAJABIFARD, A., & NGO, T. Transport sustainability index: Melbourne case study. *Ecological Indicators*, 43, 288-296, 2014.
- SEVERINO, A. J. Metodologia do trabalho científico. 23. ed. rev. e atualizada. São Paulo: Cortez, 2007.
- SHARPE, A. TARANTOLA, S., & SALTELLI, A. Exploratory Research Report: The Integration of Thematic Composite 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.
- SAMPAIO, R. F., & MANCINI, M. C. Systematic review studies: a guide for careful synthesis of the scientific evidence. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 11(1), 83-89, 2007.
- SAISANA, M. Weighting methods II: Statistical approaches. Lecture at JRC Seminar on Composite Indicators and Rankings, Ispra Italy, 23-25, 2011.
- SAISANA, M., & TARANTOLA, S. State of the Art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development. Institute for the Protection and Security of the Citizen, 2002.
- SAISANA, M., SALTELLI, A., & TARANTOLA, S. Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, 168(2), 307-323, 2005.
- SAISANA, M., Indicators. Institute for the Protection and Security of the Citizen Technological and Economic Risk Management, Ispra, Italy, 2003.
- Literature Review of Frameworks for Macro-Indicators; No. 2004-03; Centre for the Study of Living Standards: Ottawa, ON, Canada, 2004.
- SINGH, R. K., H. R., MURTY, S. K., & GUPTA, A. K. Development of composite sustainability performance index for steel industry. *Ecological Indicators*, 7 (3), 565-588, 2007.
- SINGH, R. K., MURTY, H. R., GUPTA, S. K., & DIKSHIT, A. K. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15(1), 281-299, 2012.
- SHARPE, A., & ANDREWS, B. An assessment of weighting methodologies for composite indicators: The case of the index of economic well-being. Centre for the Study of Living Standards (CLS) research report, 10, 46, 2012.
- SCHÜTZ, R. E. O Inglês como Língua Internacional. English Made in Brazil. 2018. Recuperado em 28 julho, 2018, de <http://www.sk.com.br/sk-ingl.html>.

- TALUKDER, B., HIPEL, K., & VANLOON, G. Developing Composite Indicators for Agricultural Sustainability Assessment: Effect of Normalization and Aggregation Techniques. *Resources*, 6(4), 66, 2017.
- TARABUSI, E. C., & GUARINI, G. An unbalance adjustment method for development indicators. *Social indicators research*, 112(1), 19-45, 2013.
- TRAN, L.T., O'NEILL, R.V., SMITH E.R, & KNIGHT, C.G. Sensitivity analysis of aggregated indices for integrated assessment with a case study of the Mid-Atlantic Region. *Environ Manage*, 39, 506-514, 2007.
- TOFALLIS, C. Add or multiply? A tutorial on ranking and choosing with multiple criteria. *INFORMS Transactions on Education*, 14(3), 109-119, 2014.
- TODOROV, V., & MARINOVA, D. Modelling sustainability. *Mathematics and Computers in Simulation*, 81(7), 1397-1408, 2011.
- VELASQUEZ, M., & HESTER, P. T. An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66, 2013.
- ZHENG, J., GARRICK, N. W., ATKINSON-PALOMBO, C., MCCAHILL, C., & MARSHALL, W. Guidelines on developing performance metrics for evaluating transportation sustainability. *Research in Transportation Business & Management*, 7, 4–13, 2013.
- ZHOU, P., ANG, B. W., & POH, K. L. Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: an objective measure. *Ecological Economics*, 59(3), 305-311, 2006.
- WILSON, M. C., WU, J. The problems of weak sustainability and associated indicators. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol*, 24(1), 44–51, 2017.