

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

GUILHERME SALATINE PEREIRA

**IDENTIFICAÇÃO DE PRÁTICAS RELEVANTES PARA O DESENVOLVIMENTO
DE ECOPARQUES INDUSTRIAIS**

BAURU – SP

2020

GUILHERME SALATINE PEREIRA

**IDENTIFICAÇÃO DE PRÁTICAS RELEVANTES PARA O DESENVOLVIMENTO
DE ECOPARQUES INDUSTRIAIS**

Dissertação de mestrado apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em engenharia de produção pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Orientadora: Profa. Dra. Barbara Stolte Bezerra

BAURU – SP

2020

Pereira, Guilherme Salatine.

Identificação de práticas relevantes para o desenvolvimento de ecoparques industriais / Guilherme Salatine Pereira, 2020

126 f.

Orientadora: Barbara Stolte Bezerra

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2020

I. Desenvolvimento sustentável. 2. Ecologia industrial. 3. Simbiose industrial. 4. Processo de tomada de decisão. 5. Ecoparque industrial I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE GUILHERME SALATINE PEREIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 23 dias do mês de setembro do ano de 2020, às 14:30 horas, no(a) Via sistemas de videoconferência e outras ferramentas para comunicação a distância, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof^a. Dr^a. BARBARA STOLTE BEZERRA - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof^a. Dr^a. LILIAN BECHARA ELABRAS VEIGA do(a) Departamento de Gestão Ambiental / Instituto Federal do Rio de Janeiro - IFRJ, Prof. Dr. DANIEL JUGEND do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de GUILHERME SALATINE PEREIRA, intitulada **IDENTIFICAÇÃO DE PRÁTICAS RELEVANTES PARA O DESENVOLVIMENTO DE ECOPARQUES INDUSTRIAIS**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof^a. Dr^a. BARBARA STOLTE BEZERRA

Prof^a. Dr^a. LILIAN BECHARA ELABRAS VEIGA

Prof. Dr. DANIEL JUGEND

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais pelo apoio incondicional que sempre recebi, o qual me permitiu enfrentar mais esse desafio. Agradeço ao meu avô Vicente pelo exemplo de integridade, honestidade e respeito que tantas vezes demonstrou. A ele, dedico esse trabalho numa tentativa de honrar sua memória e amenizar uma saudade constante e diária.

Agradeço a Professora Dra. Barbara Stolte Bezerra, cuja orientação, paciência e disposição se mostraram instrumentais na execução dessa pesquisa e nos resultados obtidos. Obrigado por acreditar em mim e nesse projeto ao longo desses dois anos de extremo aprendizado e crescimento profissional, o qual não seria possível sem a sua conduta e determinação. Agradeço também aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e do DEP, em especial ao Professor Daniel Jugend e Professora Gladys D. C. Barriga que integraram a banca de qualificação, e a Professora Lilian B. E. Veiga do IFRJ que compôs a banca de defesa, e que proporcionaram um auxílio valioso com suas opiniões.

Por fim, agradeço aos amigos, os de longa data e aqueles que conheci ao longo dessa caminhada, por sua companhia e compreensão. Em especial, agradeço a Fernanda, Louise, Mario e Matheus, cuja ajuda foi indispensável e que não falharam nos momentos em que mais precisei.

RESUMO

O aumento da população mundial e dos padrões de consumo – aliados à redução constante das reservas de recursos naturais e ao aumento da complexidade e potenciais danos dos processos industriais – provocaram um aumento no nível de consciência ambiental globalmente. A sociedade passou a exigir de líderes, governantes e corporações a adoção de boas práticas ambientais e a melhor relação entre as organizações e o meio ambiente. Nesse contexto, a economia circular surge como uma alternativa ao modelo tradicional de produção e consumo, por meio de atividades de incentivo à redução da geração de resíduos e subprodutos, bem como a diminuição da quantidade de matéria-prima necessária. Uma das formas de implementação da economia circular se dá através de relações de cooperação e sinergia de materiais e serviços entre indústrias colocalizadas em *ecoparques* industriais. Essa pesquisa buscou identificar quais as práticas adotadas em *ecoparques* industriais possuem maior relevância para o desenvolvimento dessas iniciativas. Foi utilizado o Processo Hierárquico Analítico (AHP), onde um painel de especialistas foi consultado para determinar a ordem de importância de 16 práticas identificadas através de uma revisão estruturada da literatura. Verificou-se que a categoria Econômica obteve a maior importância relativa, seguida das categorias Organizacional, Técnica, Política, Capacitação e Informacional. Os resultados foram dispostos em um *framework* visual e também foram relacionados com os estágios de desenvolvimento de *ecoparques* industriais.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável; Ecologia industrial; Simbiose industrial; Processo de tomada de decisão; Ecoparque industrial.

ABSTRACT

The increase in the world population and changes in consumer patterns, coupled with the constant reduction of natural resource reserves and the increase in the complexity and potential damage of industrial processes caused an increase in the level of environmental awareness globally. The society started to demand from leaders, governments and corporations the adoption of better environmental practices and an enhanced relationship between organizations and the environment. In this context, the circular economy emerges as an alternative to the traditional model of production and consumption, through activities to encourage the reduction of the generation of tailings and by-products, as well as the reduction of the amount of raw material needed. One of the ways of implementing the circular economy is through cooperative relationships and the synergy of materials and services between co-localized industries in eco-industrial parks. This research sought to identify which practices adopted in industrial eco-parks are more relevant to the development of these initiatives, through the use of the Analytical Hierarchical Process (AHP), where a panel of experts was consulted to determine the order of importance of the 16 practices identified through a structured literature review. It was found that the Economic category obtained the greatest relative importance, followed by the Organizational, Technical, Policy, Training and Informational categories. The results were arranged in a visual framework and were also linked to the development stages of eco-industrial parks.

Keywords: Sustainable development; Industrial ecology; Industrial symbiosis; Decision Making Process; Eco-industrial park.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dimensões do tripé da sustentabilidade	22
Figura 2 – Principais eventos para o movimento ambiental.....	23
Figura 3 – Níveis de implementação da economia circular.....	25
Figura 4 – Fases de evolução de iniciativas de ecologia industrial	27
Figura 5 – Mapa da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ).....	43
Figura 6 – Desenho da hierarquia do método AHP.....	49
Figura 7 – Procedimento metodológico	50
Figura 8 – Diferentes níveis de hierarquia.....	51
Figura 9 – Principais práticas desenvolvidas em ecoparques industriais	65
Figura 10 – Framework para o desenvolvimento de ecoparques industriais.....	76
Figura 11 – Procedimento equivalência durante a hierarquização do problema.....	78
Figura 12 – Hierarquia do processo hierárquico analítico.....	78
Figura 13 – Framework modificado para o desenvolvimento de ecoparques industriais	82
Figura 14 – Relação dos subcritérios com os estágios de desenvolvimento de EPIs.....	84
Figura 15 – Estágios evolutivos para a implementação da Economia Circular	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferentes ênfases do desenvolvimento sustentável	18
Quadro 2 – Fatores que influenciam o desenvolvimento e as características operacionais das redes de SI	34
Quadro 3 – EPIs propostos pelo PCSD e sua situação operacional	38
Quadro 4 – Principais conceitos teóricos	46
Quadro 5 – Perfil dos especialistas do grupo A.....	56
Quadro 6 – Perfil dos especialistas integrantes do grupo B	57
Quadro 7 – Escala fundamental de Saaty	59
Quadro 8 – Relação das práticas identificadas na literatura e dos principais autores	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Regiões e complexos industriais escolhidos para a primeira fase do programa sul-coreano.....	41
Tabela 2 – Resultados das buscas nas bases de dados.....	53
Tabela 3 – Número de artigos extraídos nas bases de dados.....	53
Tabela 4 - Número de artigos originais e duplicados	53
Tabela 5 – Número de artigos selecionados para a leitura integral.....	54
Tabela 6 – Exemplo de matriz de comparações pareadas	60
Tabela 7 – Índice de Consistência Aleatória (RI).....	62
Tabela 8 – Prioridades dos critérios e subcritérios	79
Tabela 9 – Classificação geral de prioridade para os subcritérios identificados	83
Tabela 10 – Prioridades individuais para o critério Técnico	85
Tabela 11 – Medidas descritivas para o critério Técnico	85
Tabela 12 – Prioridades individuais para o critério Político	86
Tabela 13 – Medidas descritivas para o critério Político	86
Tabela 14 – Prioridades individuais para o critério Econômico.....	87
Tabela 15 – Medidas descritivas para o critério Econômico.....	87
Tabela 16 – Prioridades individuais para o critério Informacional	88
Tabela 17 – Medidas descritivas para o critério Informacional	88
Tabela 18 – Prioridades individuais para o critério Organizacional	88
Tabela 19 – Medidas descritivas para o critério Organizacional.....	89
Tabela 20 – Prioridades individuais para o critério Capacitação	89
Tabela 21 – Medidas descritivas para o critério	90
Tabela 22 – Matriz agregada de julgamentos para categorias das práticas identificadas.....	124
Tabela 23 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Técnico.....	124
Tabela 24 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Político	125
Tabela 25 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Econômico	125
Tabela 26 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Informacional.....	125
Tabela 27 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Organizacional	126
Tabela 28 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Capacitação	126

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2. JUSTIFICATIVAS	13
1.3. QUESTÃO DE PESQUISA	15
1.4. OBJETIVOS	15
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ECONOMIA CIRCULAR	17
2.2. ECOLOGIA INDUSTRIAL	25
2.3. SIMBIOSE INDUSTRIAL.....	28
2.4. ECOPARQUES INDUSTRIAIS	32
2.4.1. Iniciativas eco-industriais em países desenvolvidos	34
2.4.2. Iniciativas eco-industriais em países em desenvolvimento	39
2.4.3. Iniciativas eco-industriais no Brasil	42
3. MÉTODO DE PESQUISA	47
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	47
3.2. PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO (AHP)	48
3.3.1. Definição do problema	51
3.3.2. Definição da hierarquia	51
3.3.3. Painel de especialistas	54
3.3.4. Análise de dados e classificação.....	60
3.3.5. Teste de hipóteses	63
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1. PRÁTICAS PRESENTES EM ECOPARQUES INDUSTRIAIS.....	65
4.1.1. Categoria Técnica	66
4.1.2. Categoria Política e Governamental	68
4.1.3. Categoria Econômica.....	70
4.1.4. Categoria Informacional	71
4.1.5. Categoria Organizacional	73
4.1.6. Categoria Capacitação e Educação.....	74
4.1.7. <i>Framework</i> para o desenvolvimento de EPIs	75
4.2. PAINEL DE ESPECIALISTAS	77
4.2.1. Hierarquia e matriz de julgamentos.....	77
4.2.2. Prioridades dos critérios e subcritérios.....	78

4.3.	TESTES DE HIPÓTESES	84
4.3.1.	Teste para o critério Técnico	85
4.3.2.	Teste para o critério Político.....	86
4.3.3.	Teste para o critério Econômico.....	86
4.3.4.	Teste para o critério Informacional	87
4.3.5.	Teste para o critério Organizacional.....	88
4.3.6.	Teste para o critério Capacitação	89
4.4	IMPLICAÇÕES PARA A TEORIA E A PRÁTICA	91
4.5	O FUTURO DOS EPIS NO CONTEXTO NACIONAL	94
5.	CONCLUSÕES.....	97
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE A – Relação das práticas adotadas em ecoparques industriais identificadas na literatura.....	120
	APÊNDICE B – Matrizes agregadas de julgamentos	124

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento da população mundial e a redução da pobreza extrema, ocorridos ao longo do século XX, têm aumentado a pressão sobre os recursos naturais finitos do planeta, que são utilizados para atender à crescente demanda de novos produtos e mercados (LOWE; EVANS, 1995; UNITED NATIONS, 2017; WORLD BANK, 2018). Entretanto, foi somente a partir da década de 1950 que entidades governamentais, empresas e a sociedade civil passaram formalmente a analisar o impacto do desenvolvimento econômico sobre o meio ambiente (DONAIRE, 1999).

O maior interesse da sociedade civil e representantes governamentais pela causa ambiental está ligado à maior severidade das consequências das ações humanas, sobretudo das atividades industriais, que com a maior complexidade dos processos passou a infligir danos de maior magnitude sobre o meio ambiente (SARKIS; DOU, 2017). Preocupações fomentadas por grandes acidentes ambientais também tendem a estimular a mobilização de setores da sociedade civil que passam a exigir soluções do poder público (POTT; ESTRELA, 2017). Por exemplo, grandes desastres ambientais ocorridos na década de 1980, como o de Bhopal na Índia, e o vazamento do petroleiro Exxon Valdez na costa do Alaska, instigaram ativistas a pressionarem por uma legislação que reduzisse os impactos ambientais gerados pelas companhias, especialmente as indústrias de transformação e de extração de recursos naturais (PANE HADEN; OYLER; HUMPHREYS, 2009; POTT; ESTRELA, 2017).

Como forma de oferecer uma resposta a sociedade frente aos desafios ambientais enfrentados, as Organizações das Nações Unidas estabeleceram a proteção ao meio ambiente como um dos Objetivos do Milênio em 2000 (UNITED NATIONS, 2000). Já em 2015, um novo conjunto mais amplo de 17 objetivos foi firmado entre todos os países da Assembleia Geral das Nações Unidas, no qual o compromisso com o desenvolvimento sustentável foi reafirmado, por meio do estabelecimento de programas e ações que visam à criação de cidades e comunidades sustentáveis, consumo e produção responsável, combate às alterações climáticas, e a preservação de ecossistemas (UNITED NATIONS, 2015).

Nesse contexto de aumento da consciência ambiental da população e líderes, ainda nos anos 1970, foram desenvolvidas técnicas de combate à poluição no fim de processo (*end-of-pipe*) que ajudaram as empresas a cumprirem os limites de emissões de poluentes especificados na legislação então estabelecida (HE *et al.*, 2018; JABBOUR; JABBOUR, 2013). Com o avanço tecnológico e o potencial de obtenção de vantagem competitiva, as empresas passaram a investir

em soluções de prevenção da poluição, através da modificação do *design* de produtos e alteração de técnicas de produção, fazendo uso de ferramentas como a análise do ciclo de vida, que visa estipular o impacto gerado pelo produto desde a fase de extração da matéria-prima até o seu descarte (MCALOONE; PIGOSSO, 2017). Essa mudança de paradigma aproximou as empresas produtoras de seus fornecedores e demais nós da rede de suprimentos, com o intuito de elaborar soluções em conjunto, visando reduzir a pegada ambiental do bem fabricado em todas as suas fases de existência (HE *et al.*, 2018; MCALOONE; PIGOSSO, 2017).

Com o aumento da complexidade dos sistemas produtivos, devido à globalização, pressão dos consumidores por produtos personalizados e de baixo custo, redução no número de emissões toleradas pela legislação ambiental vigente, entre outros, as organizações adotaram relações de interdependência como modo de reduzir a dificuldade de previsão de longo prazo, e aumentar as chances de sucesso de implementação de ações gerenciais (SARKIS; DOU, 2017; SARKIS; ZHU; LAI, 2011). Entretanto, as oportunidades de colaboração entre as empresas continuam subaproveitadas, apesar de sua maior preocupação quanto à disponibilidade e preço das matérias-primas (CHERTOW; EHRENFELD, 2012).

Uma dessas relações de interdependência é a simbiose industrial, que busca aproximar empresas colocalizadas que possuem fluxos semelhantes de recursos, com o intuito de fomentar a cooperação mútua por meio da troca de subprodutos, resíduos, água, vapor, energia, e bem como estabelecer a gestão compartilhada de projetos de infraestrutura, programas de capacitação, sistemas de coleta e disponibilização de informação, entre outros serviços (CHERTOW, 2000; DOMENECH *et al.*, 2019). Como a proximidade entre os agentes participantes da simbiose facilita o seu desenvolvimento e implementação, esse tipo de relação é comumente observada em parques industriais (CHERTOW; PARK, 2016; LOWE, 1997). Logo, um ecoparque industrial (EPI) representa um agrupamento de empresas que possuem o objetivo de colaborar com a melhoria conjunta dos indicadores socioambientais, por meio do uso das melhores práticas de redução da poluição, do estabelecimento de relações de simbiose, do fomento à cooperação e sinergia entre as empresas e gerentes por meio da definição de um objetivo comum e diretriz de negócios alinhada (LOWE; EVANS, 1995; SARKIS; DOU, 2017).

Na última década, exemplos de implementações bem-sucedidas de ecoparques industriais ocorreram em países industrializados e desenvolvidos na América do Norte (LOWITT, 2008; POTTS CARR, 1998), Europa (BAAS, L. W.; KOREVAAR, 2010; DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2018) e Oceania (ROBERTS, 2004). Também é notável o avanço desse modelo de organização industrial na China (JINPING *et al.*, 2016; LU *et al.*, 2015).

Outras nações recém-industrializadas também têm concentrado esforços para desenvolver ações de simbiose industrial, como Cingapura (YANG; LAY, 2004), Tailândia (PILOUK; KOOTTATEP, 2017) e Coreia do Sul (BAN; JEONG; JEONG, 2016; BEHERA *et al.*, 2012; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016).

Atualmente, não existe um ecoparque industrial formalizado no Brasil, apesar do crescimento desse tipo de empreendimento em países em desenvolvimento (TREVISAN *et al.*, 2016). Uma iniciativa eco-industrial realizada na região metropolitana do Rio de Janeiro foi instituída com o objetivo de incentivar empresas daquela localidade a aumentar o número de interações e trocas de subprodutos e outros materiais mediante incentivos fiscais. Entretanto, mudanças ocorridas na administração pública fizeram com que o governo do Estado do Rio de Janeiro deixasse o projeto, diminuindo grandemente a velocidade de desenvolvimento, culminando na estagnação do projeto (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; TREVISAN *et al.*, 2016).

1.2. JUSTIFICATIVAS

No contexto do desenvolvimento sustentável, ecoparques industriais têm um papel de destaque ao incentivar relações de sinergia e cooperação entre as empresas, promover a melhora conjunta da performance ambiental e encorajar o reaproveitamento de subprodutos e resíduos por meio de práticas de reuso e reciclagem, reduzindo a quantidade de matéria-prima virgem necessária e oferecendo uma destinação alternativa adequada ao descarte desses materiais (MCALOONE; PIGOSSO, 2017; SARKIS; DOU, 2017; TUDOR; ADAM; BATES, 2007). Entretanto, devido a sua complexidade de implementação, a qual depende da criação de um ecossistema industrial com relações de interdependência benéficas para todas as empresas participantes, o número de EPIs implementados é baixo quando comparado ao escopo da atividade industrial global (AFSHARI; FAREL; PENG, 2018). Ainda, grande parte dos ecoparques industriais se encontra no estágio inicial de desenvolvimento, devido ao baixo índice de cooperação entre as empresas participantes, denotando uma aplicação ineficiente dos conceitos da simbiose industrial no ambiente corporativo (BAI *et al.*, 2014).

A introdução da Política Nacional de Resíduos Sólidos pela lei 12.305 de 2010 buscou responsabilizar os entes geradores pelos resíduos produzidos e estabelecer uma hierarquia de preferência na gestão de resíduos sólidos no país, na qual ações que incentivam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem são preferíveis ao descarte dos resíduos em local adequado (BRASIL, 2010). Entretanto, os parques industriais brasileiros ainda encontram dificuldade para dar destinação adequada aos resíduos sólidos, prejudicando sua performance

ambiental, e também ficam sujeitos a multas e sanções que poderiam impactar a saúde financeira das organizações presentes (CEGLIA; ABREU; DA SILVA FILHO, 2017).

Também é importante ressaltar que a indústria de transformação no Brasil apresenta tendência de retração desde a abertura comercial do país nos anos 1990, tendo sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) reduzida de 14,20% em 1996 para 10,40% em 2019, o menor patamar da série histórica (FRAGA; CARNEIRO; PAMPLONA, 2019). Nesse âmbito, ações que aumentem a eficiência e competitividade das indústrias, como a adoção do conceito de EPIs, podem ajudar a reverter o quadro atual, porém a ausência formal desse tipo de empreendimento industrial no país expõe que há pouca clareza sobre o tema, e que há necessidade de mais estudos sobre o assunto no contexto nacional (TREVISAN *et al.*, 2016).

Dado que os benefícios da adoção de ecoparques industriais ainda não são amplamente conhecidos, mais estudos são necessários para compreender quais as estratégias de desenvolvimento de EPIs mais adequadas a diferentes contextos (TUDOR; ADAM; BATES, 2007). Porém, grande parte da literatura se dedica a apenas listar os fluxos de materiais e recursos naturais trocados entre as organizações participantes, logo existe a necessidade de mais trabalhos voltados para a compreensão de quais práticas levam ao desenvolvimento pleno de novos EPIs ou na conversão de parques industriais tradicionais em EPIs (BELLANTUONO; CARBONARA; PONTRANDOLFO, 2017).

Tudor, Adam e Bates (2007) levantaram quais são as atividades que auxiliam e prejudicam o desenvolvimento e funcionamento de EPIs através de uma revisão não estruturada da literatura publicada. Em seu trabalho, os autores reforçam a importância do papel governamental para o sucesso de EPIs devido à necessidade de uma legislação ambiental apropriada, que permita a colocalização das empresas e a que facilite as relações de simbiose industrial (TUDOR; ADAM; BATES, 2007).

A mesma abordagem não estruturada de levantamento de práticas foi utilizada por Sakr et al. (2011), que durante a investigação desses elementos no contexto do setor industrial egípcio, elencaram diversas práticas que auxiliam e prejudicam o desenvolvimento de EPIs. Estas práticas foram divididas em sete categorias: relacionamentos simbióticos organizacionais, valor econômico adicionado, conscientização e compartilhamento de informação, panorama político e regulatório, esquemas organizacionais e institucionais, fatores técnicos e balanço entre capacidades.

Em ambos os casos, o levantamento não estruturado reduz a validade interna das pesquisas devido ao aumento do peso do viés do pesquisador durante a coleta e análise de dados, e dessa forma diminuindo suas possibilidades de generalização (BLEIJENBERGH; KORZILIUS; VERSCHUREN, 2011; PATINO; FERREIRA, 2018).

Já os pesquisadores Pilouk e Koottatep (2017) se basearam na legislação tailandesa de fiscalização de parques industriais para elaborar uma lista de indicadores de performance ambiental e econômica, estabelecendo uma ordem de importância baseada no *feedback* de *stakeholders* de um parque industrial local. Dessa forma, o trabalho limitou-se a observação de apenas um contexto durante a etapa de levantamento de dados, reduzindo a capacidade de generalização da pesquisa em países com diferentes situações econômicas, ambientais, sociais e culturais.

Por meio de uma revisão estruturada da literatura, Bellantuono, Carbonara e Pontrandolfo (2017) expõem as principais atividades e características dos EPIs, para posteriormente agrupá-los em *clusters* segundo suas similaridades. Entretanto, os pesquisadores não estabelecem relações de importância entre os elementos levantados.

Frente ao conteúdo dos trabalhos anteriores apresentados acima, pode-se afirmar que existe espaço na literatura para pesquisas que busquem elencar e dar peso às práticas relevantes para o desenvolvimento de EPIs como forma de aumentar sua visibilidade, bem como a de seus benefícios, e também reduzir sua complexidade de implementação.

1.3. QUESTÃO DE PESQUISA

Diante do *gap* de pesquisa identificado, este estudo buscou responder a seguinte questão: *Quais são as práticas relevantes para o desenvolvimento de ecoparques industriais e qual é sua relativa ordem de importância?*

1.4. OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é elencar quais práticas relevantes para o desenvolvimento de ecoparques industriais (EPI), através do levantamento das atividades e características de parques industriais que possuam relações de simbiose industrial entre as empresas colocalizadas, e determinar quais critérios possui maior importância para o desenvolvimento de EPIs. Para isso, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Levantar quais as atividades e características presentes em ecoparques industriais;

- Elaborar um *framework* teórico contendo as práticas identificadas anteriormente com propósito de facilitar o desenvolvimento de EPIs;
- Coletar o *feedback* de um painel de especialistas composto por dois grupos de perfis distintos (acadêmico e corporativo) para aprimorar o *framework* teórico construído com as importâncias relativas de cada prática e categoria;
- Comparar os valores médios obtidos para cada grupo, a fim de verificar se a importância observada por determinada categoria varia de acordo com o perfil do entrevistado.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Após a introdução contida no Capítulo 1, o Capítulo 2 apresenta o referencial teórico contendo os principais conceitos e definições utilizados para esse estudo. A seguir, as etapas do método de pesquisa utilizado são expostas no Capítulo 3, enquanto que o Capítulo 4 contém os resultados obtidos e uma discussão com trabalhos anteriores presentes na literatura. As conclusões do estudo são apresentadas no Capítulo 5 e resumem as principais descobertas, possíveis limitações e indicações de futuras oportunidades de pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo apresenta um referencial teórico das principais áreas do conhecimento abordadas nesse estudo, bem como definições para os principais conceitos. Inicialmente, o advento da Economia Circular é contextualizado como uma evolução das ações e demandas do movimento ambientalista às organizações e ao poder público. Posteriormente, a Ecologia Industrial é descrita como uma forma de aplicação do conceito de Economia Circular para os vínculos interorganizacionais, resultando nas relações de Simbiose Industrial e nos Ecoparques Industriais.

2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ECONOMIA CIRCULAR

Organizações, em especial as empresas de manufatura têm se comprometido cada vez mais com a ideia de desenvolvimento sustentável como forma de tornar mais eficiente a produção de bens e serviços, reduzir custos operacionais e de adequação a legislação, e também como forma de obter vantagem competitiva sobre os concorrentes ao utilizar práticas sustentáveis como plataforma de marketing, buscando alcançar um consumidor com perfil mais consciente e disposto a pagar mais por uma marca que respeite o meio ambiente (HILLARY, 1997; JABBOUR; JABBOUR, 2013; SARKIS; DOU, 2017). Para Jabbour e Jabbour (2013, p. 6), a sociedade contemporânea assume que “a gestão ambiental é um dever das organizações”, e seria impensável retornar a uma situação onde essa área deixasse de receber a atenção dos gestores.

No relatório produzido pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (*World Commission on Environment and Development*, WCED) – órgão vinculado a Organização das Nações Unidas e criado em 1983 para pensar soluções de longo prazo para o meio ambiente – o desenvolvimento sustentável pode ser definido como aquele “que atende as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem as suas próprias necessidades” (UNITED NATIONS, 1987, p. 16). O documento publicado em 1987 – que também ficou conhecido como Relatório Brundtland, em homenagem à Presidente do Conselho e ex-primeira-ministra da Noruega Gro Harlem Brundtland – busca aliar a ideia de crescimento econômico, especialmente nas regiões mais pobres, com medidas de aumento de eficiência energética, uso racional dos recursos naturais, bem como a preservação e recuperação de ecossistemas (BRUNDTLAND, 1987; UNITED NATIONS, 1987).

Apesar de concisa, essa definição se popularizou por sua abrangência, o que permitiu que muitos grupos passassem a operar sob a bandeira do desenvolvimento sustentável (ROBERT;

PARRIS; LEISEROWITZ, 2005). Com o intuito de refinar este conceito e de traçar estratégias para atingi-lo, o Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos (*National Research Council*, NRC) – entidade que reúne as Academias Nacionais de Ciências, Engenharia e Medicina – emitiu um relatório intitulado “Nossa Jornada em Comum”. Neste relatório foram estabelecidos três grandes áreas de concentração que devem ser preservadas, e outras três que devem ser desenvolvidas, com ambos os eixos se relacionando através de uma série de operadores lógicos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1999). O Quadro 1 apresenta as áreas de ênfase de esforços para a promoção do desenvolvimento sustentável.

Quadro 1 - Diferentes ênfases do desenvolvimento sustentável

O que deve ser preservado:	Por quanto tempo? 25 anos “agora e no futuro” Para sempre	O que deve ser desenvolvido:
NATUREZA Terra Biodiversidade Ecossistemas		PESSOAS Sobrevivência infantil Expectativa de vida Educação Equidade Igualdade de oportunidades
SUPORTE DE VIDA Serviços de ecossistema Recursos Meio ambiente	LIGADOS POR <i>Apenas</i> <i>Na maioria das vezes</i> <i>Mas</i> <i>E</i> <i>Ou</i>	ECONOMIA Riqueza Setor produtivo Consumo
COMUNIDADE Cultura Grupos Localidades		SOCIEDADE Instituições Capital social Estados Regiões

Fonte: Our Common Journey (NRC, 1999), tradução do autor.

O relatório revelou que a literatura até então apresentava dois olhares distintos sobre o papel do meio ambiente e os motivos que levam a sua preservação (ROBERT; PARRIS; LEISEROWITZ, 2005). Por um lado, existe a visão de que a natureza possui um valor intrínseco e por isso deve ser resguardada. Mas também há uma interpretação mais antropocêntrica, na qual o meio ambiente deve ser resguardado dado o seu papel de suporte nas atividades humanas na forma da prestação de serviços de ecossistema, que são “processos em que ecossistemas naturais, e as espécies neles contidas, sustentam e enriquecem a vida humana”.(DAILY, 1997, p. 3; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1999; ROBERT; PARRIS; LEISEROWITZ, 2005). São exemplos de serviços de ecossistema a formação de solo, o ciclo de nutrientes, a polinização, a adubação e controle de pragas realizados por animais (FISHER; KERRY TURNER, 2008).

O maior interesse de organizações pela preservação do meio ambiente está ligado à maior pressão exercida por cidadãos sensibilizados pela causa ambiental (JABBOUR; JABBOUR, 2013). Entre a segunda metade do século XIX e o início do século XX, o Movimento Conservacionista reuniu intelectuais, artistas, escritores e ativistas nos Estados Unidos, com o objetivo de proteger a fauna e a flora da exploração desenfreada ocasionada pelo avanço da revolução industrial (PANE HADEN; OYLER; HUMPHREYS, 2009). Porém, foi com o crescimento da associação entre proteção do meio ambiente e questões de saúde pública que a pauta ambiental passou a ser discutida amplamente (BHATIA; WERNHAM, 2008). Assim, o Movimento Ambientalista moderno é uma fusão dos dois conceitos, preservação e proteção de ecossistemas, e regulação e controle das atividades humanas possivelmente danosas a saúde pública (PANE HADEN; OYLER; HUMPHREYS, 2009).

Outro fator importante para o aumento da conscientização ambiental são as preocupações fomentadas por grandes acidentes ambientais que tendem a estimular a mobilização de setores da sociedade civil que passam a exigir soluções do poder público (POTT; ESTRELA, 2017).

Segundo o historiador Arthur Marwick (2005), os anos 1960 foram de forte revolução cultural nos Estados Unidos, França e Reino Unido, na qual a sociedade passou a questionar a moralidade e autoridade das instituições familiares, governamentais, religiosas e também a relação das organizações com o meio ambiente. Em 1962, bióloga e conservacionista Rachel Carson publicou seu mais famoso livro “Primavera silenciosa”, onde denunciava os efeitos nocivos das substâncias químicas utilizadas como pesticidas, em especial o dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) (CARSON, 2002; SARKIS; ZHU; LAI, 2011). O livro provocou uma onda de insatisfação no público norte-americano que passou a exigir maior regulação sobre as

substâncias utilizadas na agricultura (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1999; SARKIS; ZHU; LAI, 2011).

No dia 29 de janeiro 1969, uma explosão em uma das plataformas de extração de petróleo da Union Oil Co. deu origem à um vazamento que despejou cerca de 3 milhões de galões de óleo na baía de Santa Barbara, no estado americano da Califórnia (HAMILTON, 2019). O vazamento foi considerado o pior desastre ambiental do tipo já registrado na história dos Estados Unidos, e um dos primeiros a receber cobertura televisionada (MAI-DUC, 2015).

Em junho do mesmo ano, devido à intensa concentração de poluentes e óleos, um incêndio se propagou no rio Cuyahoga na região industrial da cidade de Cleveland (STRADLING; STRADLING, 2008). Embora incêndios de grandes proporções no local já tivessem ocorrido no passado, nesta ocasião a opinião pública passou a exigir ações concretas para a despoluição do rio (BOISSONEAULT, 2019; STRADLING; STRADLING, 2008).

Os eventos ocorridos nos anos 1960 fortaleceram o movimento ambiental dentro da sociedade americana, que pressionou o governo dos Estados Unidos a reagir através da implementação da Lei Nacional de Política Ambiental em 1969, e da criação da Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency* – EPA) em 1970, iniciando a chamada “Década Ambiental” (EPA, 2018; HILL, 1975; PANE HADEN; OYLER; HUMPHREYS, 2009).

Entre os dias 5 e 16 de junho de 1972, delegações de 116 países se reuniram em Estocolmo, Suécia, para a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, a primeira reunião colegiada com a temática ambiental (HILL, 1972). A conferência foi marcada por confrontos entre países desenvolvidos, que buscavam remediar os impactos ambientais através da limitação da atividade industrial de países em desenvolvimento, e os países em desenvolvimento, que almejaram manter seu estilo de desenvolvimento industrial (EMMELIN, 1972). Um dos compromissos firmados é o de que países em desenvolvimento têm direito à compensação caso sejam prejudicados por decisões de cunho ambientais tomadas por países desenvolvidos (EMMELIN, 1972). Também foi aprovado por unanimidade um relatório contendo 26 princípios, cujo primeiro é (UNITED NATIONS, 1972a):

O homem tem o direito fundamental à liberdade, igualdade e condições de vida adequada em um ambiente de qualidade que permita uma vida digna e bem-estar, ele tem a responsabilidade solene de proteger e melhorar o meio ambiente para as gerações futuras (UNITED NATIONS, 1972a, p. 1, tradução do autor).

Em dezembro do mesmo ano, a Assembleia Geral das Nações Unidas criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme* – UNEP) com

o objetivo de promover ações globais relacionadas ao desenvolvimento sustentável e autoridade para representar os interesses do meio ambiente (UNITED NATIONS, 1972b).

Ao final da década de 1970, dois acontecimentos demonstraram que apesar das novas regulamentações impostas pelo Congresso dos Estados Unidos e pela EPA, o nível de *compliance* entre as organizações poderia ser melhorado (PANE HADEN; OYLER; HUMPHREYS, 2009). A tragédia de Love Canal em 1978 (BROWN, 1979; REVKIN, 2013) e o incidente em Three Mile Island em 1979 (AYRES, B. Drummond, 1979; BRADY, 2019), expuseram a negligência de setores industriais e governamentais com protocolos de segurança e descarte de substâncias altamente perigosas, reforçando a importância das agências reguladoras e aumentando a consciência ambiental da sociedade americana (JABBOUR; JABBOUR, 2013; PANE HADEN; OYLER; HUMPHREYS, 2009).

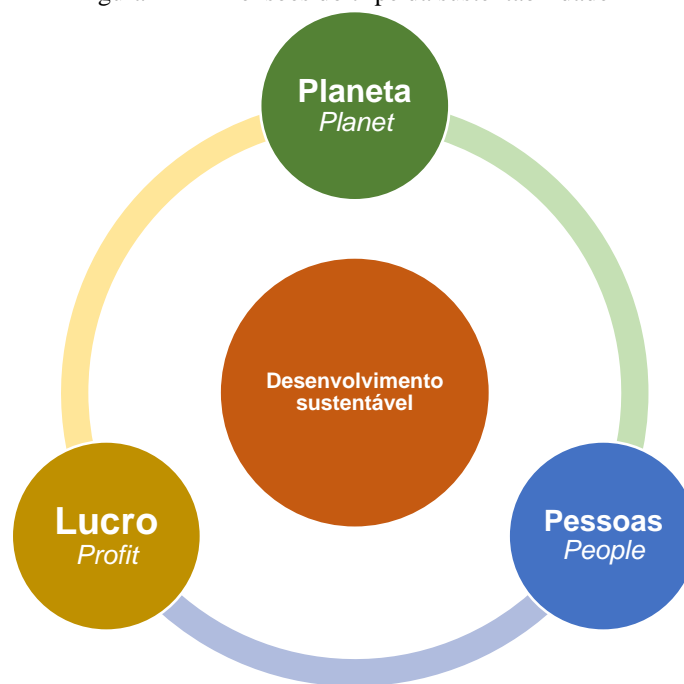
As primeiras evidências do aquecimento global apresentadas na década de 1980, juntamente com os três maiores desastres ambientais e industriais até então levaram as questões relativas ao meio ambiente para o centro das discussões em governos e sociedades ao redor do mundo (JABBOUR; JABBOUR, 2013; PANE HADEN; OYLER; HUMPHREYS, 2009). Na madrugada do dia 2 de dezembro de 1984, um vazamento de gás numa instalação da Union Carbide em Bhopal, Índia, expôs mais de 600.000 pessoas a isocianato-metil, um composto altamente tóxico, levando a morte de 15.000 moradores, centenas de milhares de feridos (DIAMOND, 1985; TAYLOR, 2014). Em abril de 1986, o reator 4 da usina nuclear de Chernobyl, Ucrânia, sofreu uma falha catastrófica, liberando uma nuvem de material radioativo sobre a maior parte da Europa, resultando em 31 fatalidades imediatas e mais 4000 mortes atribuídas a exposição prolongada a radiação (GRAY, 2019; YABLOKOV; NESTERENKO; NESTERENKO, 2009). Já em março de 1989, o navio petroleiro Exxon Valdez se chocou contra uma barreira de corais na costa do Alaska, Estado Unidos, e provocou o maior vazamento de petróleo até então na história dos Estados Unidos, liberando 37.000 toneladas de óleo em uma área de reserva natural (BRAGG *et al.*, 1994; PETERSON, Charles H. *et al.*, 2003).

A realização da conferência da WCED em 1987 e a divulgação do relatório Brundtland marcaram o início formal do desenvolvimento sustentável como área de estudo e como caminho para alcançar o objetivo de longo prazo, que é a ideia de sustentabilidade (HADEN; OYLER; HUMPHREYS, 2009; UNESCO, 2015).

Durante os anos 1990, o processo de globalização e abertura de novos mercados se tornou uma nova força para a disseminação de boas práticas ambientais e de produção mais limpa

(HILLARY, 1997). A terceira década do movimento ambiental foi marcada pela adesão das empresas ao conceito de sustentabilidade, especialmente devido ao trabalho do empresário e consultor John Elkington pelo desenvolvimento e popularização da ideia do tripé da sustentabilidade (*Triple Bottom Line - TBL*) em 1994 (ELKINGTON, 2013). O TBL é uma ferramenta contábil que busca medir a performance de uma empresa em três dimensões distintas e complementares: pessoas (*people*), planeta (*planet*) e lucro (*profit*), que ficaram conhecidas como os 3Ps e são ilustradas abaixo pela Figura 1 (ELKINGTON, 2013; SLAPER; HALL, 2011).

Figura 1 – Dimensões do tripé da sustentabilidade



Fonte: Baseado em Elkington (2013).

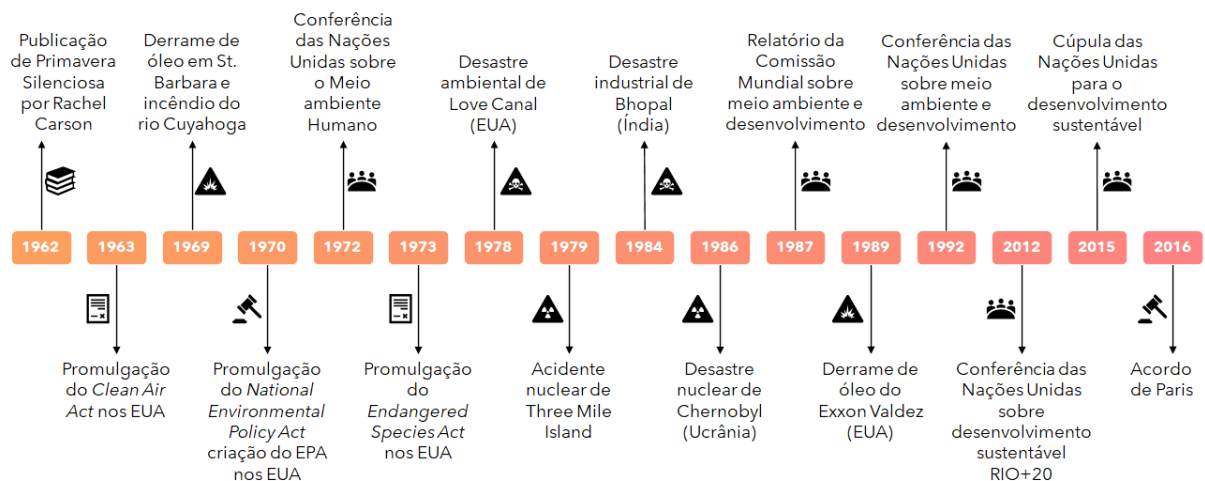
No âmbito internacional, a década de 1990 ficou marcada por três grandes conferências. Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento foi realizada no Rio de Janeiro, e resultou na publicação da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNITED NATIONS, 1992b), um documento contendo 27 princípios cujo objetivo é criar novas parcerias entre países e setores da sociedade para a proteção do meio ambiente; e também a promulgação da Agenda 21 como um plano global para o desenvolvimento sustentável (UNITED NATIONS, 1992a). Já em 1995, foi realizada a primeira Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas em Berlim, Alemanha, com o objetivo de coordenar ações através de uma reunião anual de países membros (*Conference of Parties – COP*) para mitigar os efeitos do aquecimento global antropogênico.

Em 1997, durante a COP-3 sediada em Kyoto, Japão, foi assinado o Protocolo de Kyoto que estabelece metas compulsórias de redução de 6% a 8% no volume de emissões de gases que causam o efeito estufa com base no valor de 1990 para os países desenvolvidos signatários (LAU; LEE; MOHAMED, 2012).

Em setembro de 2000, foi realizada em Nova York a Conferência do Milênio, com o objetivo de propor uma agenda de atuação das Organizações das Nações Unidas para o próximo século (UNITED NATIONS, 2000). A Declaração do Milênio contém valores e princípios acordados entre todos os estados-membros da Assembleia Geral, e que posteriormente foram traduzidos em 8 objetivos a serem alcançados até 2015, sendo a garantia da sustentabilidade ambiental uma das metas propostas.

Os esforços recentes dos líderes mundiais frente ao desafio do desenvolvimento sustentável incluem a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável no Rio de Janeiro em 2012, também conhecida como RIO+20, e a Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável em 2015, que buscou avaliar o progresso obtido frente ao 8 Objetivos do Milênio, e reafirmou o compromisso das nações com a publicação da Agenda 2030, que estabelece 17 metas para o desenvolvimento sustentável a serem cumpridos até 2030 (UNITED NATIONS, 2012, 2015). A Figura 2 ilustra os principais acontecimentos relacionados a evolução do movimento ambiental.

Figura 2 – Principais eventos para o movimento ambiental



Fonte: Autor.

Surgida na década de 1990, a Economia Circular (EC) ganhou popularidade no início do século 21 como um novo modelo de organização da economia, o qual busca conciliar o desejo de obtenção de resultados econômicos, e a necessidade de conservação do meio ambiente e

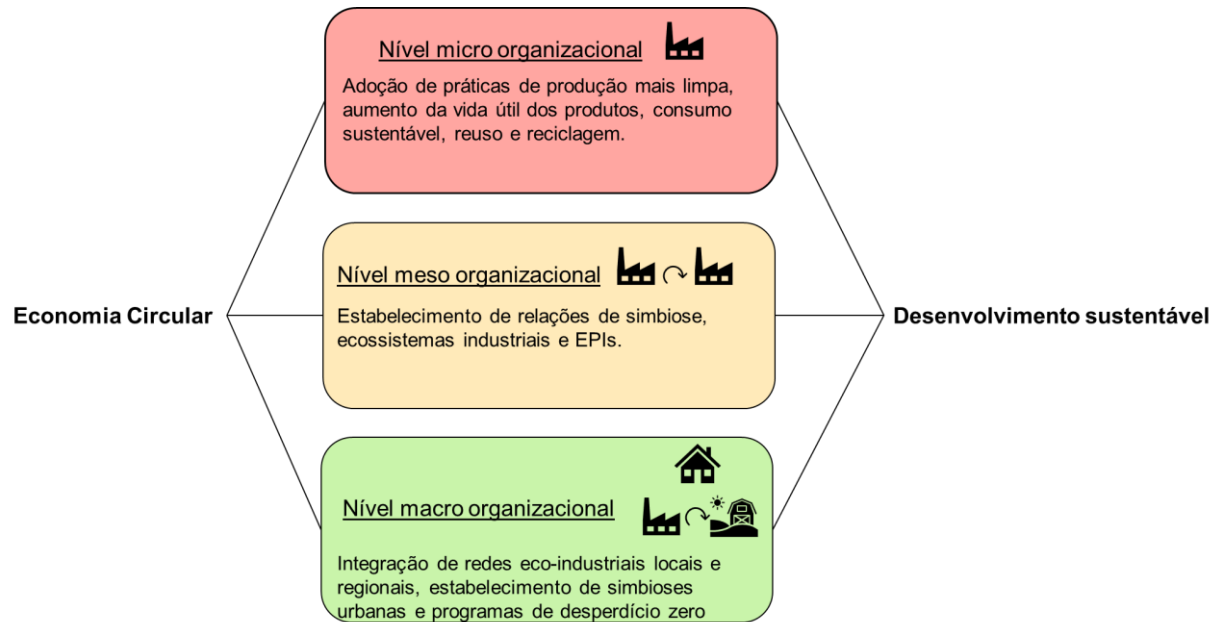
preservação dos recursos naturais (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; POMPONI; MONCASTER, 2017). A EC se coloca como contraponto do modelo “linear” de manufatura, onde matérias-primas são extraídas para a produção e consumo de bens que serão posteriormente descartados após o fim de sua vida útil (LIEDER; RASHID, 2016; SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016). Na EC novos atores e elementos produtivos são inseridos buscando o desenvolvimento de redes fechadas de suprimentos, nas quais os materiais (produtos, subprodutos, resíduos) e recursos naturais são reutilizados e reciclados com objetivo de reduzir a quantidade demandada de matérias-primas. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013; SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016).

A implementação dos princípios da EC abrange três níveis de dimensão organizacional (GENG; DOBERSTEIN, 2008; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016):

- Nível micro organizacional: também chamado de nível intraorganizacional, envolve as práticas adotadas por empresas de forma individual para a redução de poluição, e incluem técnicas de produção mais limpa, eco-design, compras verdes, introdução de sistemas de gestão ambiental, entre outras (GENG; DOBERSTEIN, 2008; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016);
- Nível meso organizacional: também conhecido como nível interorganizacional, e abrange as relações de cooperação entre empresas visando à redução de resíduos e potencial melhora da performance ambiental da rede de suprimentos por meio do compartilhamento de materiais e recursos naturais em ecoparques industriais (CHERTOW; EHRENFELD, 2012; GENG; DOBERSTEIN, 2008; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016);
- Nível macro organizacional: o terceiro nível de aplicação da EC envolve a reformulação dos sistemas urbanos em larga escala em cidades, regiões e países (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Representam ações de longo prazo e normalmente atreladas a novas tecnologias, como fontes alternativas de energia, rede de transporte mais eficiente, aplicação de novos materiais e técnicas a construção civil, entre outros (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; POMPONI; MONCASTER, 2017).

Abaixo, Figura 3 ilustra os níveis de implementação da economia circular.

Figura 3 – Níveis de implementação da economia circular



Fonte: Adaptado de Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016).

As próximas seções exploram as áreas de estudo e as atividades relacionadas com a implementação da EC a nível interorganizacional, com enfoque na ecologia industrial e na simbiose industrial, cuja aplicação prática resulta em um ecoparque industrial.

2.2. ECOLOGIA INDUSTRIAL

Ecologia industrial (EI) é o conceito que busca compreender o funcionamento de cadeias industriais de produção para então reestruturá-las segundo um modelo de ecossistema natural (ERKMAN, 1997). A EI está intimamente ligada ao Metabolismo Industrial, que é o campo de estudo que se dedica a análise sistêmica dos fluxos de materiais e recursos naturais em redes produtivas (AYRES, Robert U., 1989). Assim, a ideia de EI abrange as práticas relacionadas ao Metabolismo Industrial, como a Análise de Fluxo de Material (*Material Flow Analysis – MFA*) e a Análise do Ciclo de Vida do Produto (*Life-Cycle Assessment – LCA*), por exemplo (BRUNNER; RECHBERGER, 2016; GRAEDEL; LIFSET, 2016).

O conceito de EI foi popularizado pelo trabalho inovador elaborado por dois executivos da General Motors nos Estados Unidos, Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos, publicado na revista *Scientific American* em 1989 (GRAEDEL; LIFSET, 2016; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018). Nele, os pesquisadores apontam para a escassez de recursos não renováveis devido a crescente taxa de consumo e redução das reservas, argumentando para a transformação

do sistema produtivo tradicional para um modelo integrado de manufatura, chamado de ecossistema industrial (FROSCHE; GALLOPOULOS, 1989).

Nesse sistema, o consumo de energia e materiais é otimizado, a geração de resíduos é minimizada e os efluentes de um processo – sejam eles catalizadores do refino de petróleo, cinzas da geração de energia elétrica ou contêineres plásticos de produtos finais – servem como matérias-primas para outros processos. (FROSCHE; GALLOPOULOS, 1989, p. 144, tradução do autor).

Dessa forma, a ecologia industrial busca equiparar cadeias produtivas a ecossistemas naturais, dado que ambos são formados por relações de trocas de materiais, energia e informações em uma rede complexa de colaboração (ERKMAN, 1997). Assim, a aplicação dos conceitos de EI atua como alavanca para a promoção da proteção ao meio ambiente enquanto garante o desenvolvimento econômico sustentável (DEUTZ; GIBBS, 2004).

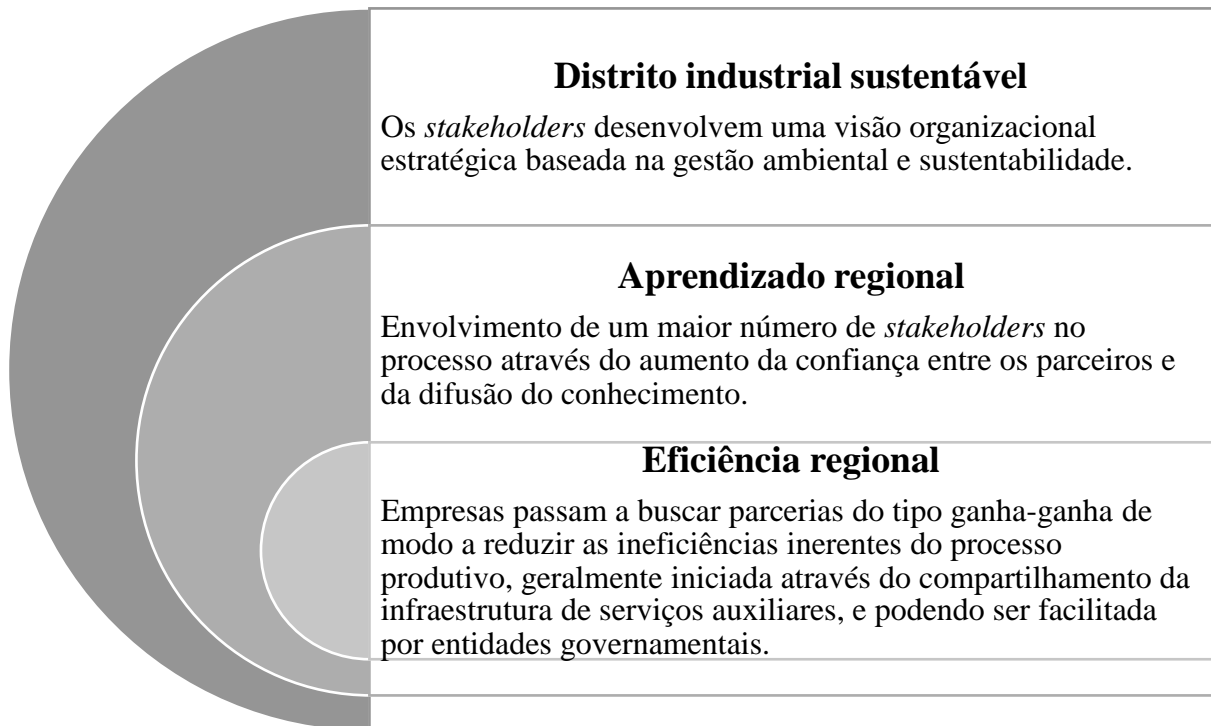
Muito embora a ecologia industrial não possua uma definição concretizada, a maioria dos autores e pesquisadores desse campo de estudo identificam três elementos principais para seu funcionamento (ERKMAN, 1997, p. 1; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018, p. 20):

- A EI representa uma visão sistêmica e integrada de todos os componentes da economia industrial e suas relações com a biosfera;
- A EI enfatiza a natureza biofísica das atividades humanas, por exemplo, a complexidade dos padrões dos fluxos de materiais dentro e fora de um sistema industrial, em contraste com a abordagem tradicional que considera a economia em termos de unidades monetárias ou fluxos de energia;
- A EI considera a dinâmica tecnológica, a evolução de longo prazo dos centros de tecnologias chave como um elemento crucial para a transição do sistema industrial insustentável para um ecossistema industrial viável.

Segundo Côté (2003), a aplicação de EI permite que empresas reduzam os custos de operação devido ao emprego de novas tecnologias e processos, aumento da adequação a legislação ambiental, redução dos custos incorridos durante o descarte adequado de materiais nocivos ao meio ambiente, além de promover novas fontes de renda para as operações já existentes. Dessa forma, a adoção da EI pode levar a empresa a obter vantagem competitiva sobre seus concorrentes (ESTY; PORTER, 1998).

De acordo com uma extensa revisão de literatura e observações empíricas, os pesquisadores Baas e Boons (2004) identificaram três fases de evolução de iniciativas de ecologia industrial, exemplificadas pela Figura 4.

Figura 4 – Fases de evolução de iniciativas de ecologia industrial



Fonte: Adaptado de Baas e Boons (2004).

Segundo Graedel e Lifset (2016), as ferramentas para a implementação do conceito de ecologia industrial incluem:

- *Análise do Ciclo de Vida do Produto (LCA)*: a análise do ciclo de vida do produto é uma ferramenta que permite estimar os impactos ambientais causados durante todas as etapas de existência do produto, desde a extração da matéria-prima, até a fabricação, despacho, utilização e descarte (FINNVEDEN *et al.*, 2009; ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2006). Um estudo LCA consiste de quatro fases: fase de definição do objetivo e escopo, fase de análise de inventário, fase de avaliação de impacto ambiental e fase de interpretação dos resultados obtidos (ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2006);
- *Design para o meio ambiente*: também conhecido como *eco-design* representa o movimento que visa incluir as preocupações com os impactos ambientais já na fase de projeto de produto, através da aplicação do princípio dos 3R (reduzir, reutilizar e reciclar) (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; JABBOUR; JABBOUR, 2013). O *eco-design* inclui práticas para que facilitam a desmontagem do produto, reduzem o consumo de recursos durante a sua utilização, substituem materiais nocivos ao meio

ambiente, reduzem a quantidade de matéria-prima necessária, entre outras (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2014; JABBOUR; JABBOUR, 2013).

- *Análise do Fluxo de Materiais (MFA)*: a análise do fluxo de materiais se baseia na lei de conservação de massa para estabelecer conexões entre fontes, caminhos e saídas intermediárias e finais de materiais, dispondo as informações coletadas em diagramas de fácil entendimento (BRUNNER; RECHBERGER, 2016).
- *Metabolismo socioeconômico*: o estudo do metabolismo socioeconômico se dedica a investigação dos fluxos de materiais, recursos e energia em sociedades complexas (FISCHER - KOWALSKI; HABERL, 1998; PAULIUK; HERTWICH, 2015). Esse campo de estudo inclui a aplicação de MFA em um contexto nacional, também chamado de inventário nacional de materiais (GRAEDEL; LIFSET, 2016).
- *Análise input-output*: desenvolvido pelo economista Wassily Leontief na década de 1930, o método *input-output* utiliza tabelas e técnicas estatísticas para quantificar o relacionamento de setores distintos em uma economia (BRUNNER; RECHBERGER, 2016; GRAEDEL; LIFSET, 2016).
- *Metabolismo urbano*: dada a alta concentração populacional das grandes cidades, e a natureza particular dos fluxos de materiais dos centros urbanos, estes locais passaram a ser objeto de estudo e local de aplicação da ecologia industrial através do trabalho pioneiro desenvolvido por Abel Wolman em 1965 (BRUNNER; RECHBERGER, 2016; GRAEDEL; LIFSET, 2016).
- *Simbiose industrial*: simbiose industrial é o nome dado ao tipo de relação desenvolvido durante a aplicação do conceito de EI a grupos de empresas geralmente colocalizadas (CHERTOW, 2000).

2.3. SIMBIOSE INDUSTRIAL

Em seu trabalho seminal, Chertow (2000, p. 314) definiu a Simbiose Industrial (SI) como a parte da ecologia industrial que “engaja indústrias tradicionalmente separadas através de uma abordagem coletiva para obtenção de vantagem competitiva que envolve a troca física de materiais, energia, água e subprodutos”. A autora também reforça a importância da colaboração entre as organizações, a qual é possível através da proximidade das empresas participantes (CHERTOW, 2000, 2008).

Os pesquisadores Zhang et al. (2010, p. 504) oferecem uma definição similar, onde a SI é apresentada como “uma forma de eco-indústria, que por meio do gerenciamento cooperativo, opera os fluxos de recursos de empresas geograficamente agrupadas”.

Ao investigar a literatura existente, Branson (2016, p. 4344) identificou quatro características principais das relações de SI:

- As relações de SI envolvem fluxos de trocas realizados em uma cadeia produtiva;
- Existe colaboração entre as empresas a qual permite o compartilhamento de materiais, recursos e infraestrutura;
- Os participantes da SI estão colocalizados, ou seja, há proximidade geográfica entre as organizações;
- Os líderes e gestores responsáveis pela SI apresentam proximidade de visão e valores, por vezes nomeada na literatura como “curta distância mental”.

Posteriormente, ao analisar relações de simbiose em um parque industrial, o autor pondera que não é a colocalização em si que favorece ou inibe as potenciais atividades de SI, mas sim os fatores econômicos e políticos relacionados a proximidade geográfica (BRANSON, 2016). Essa visão também está presente no estudo realizado por Jensen et al. (2011), que buscou medir as distâncias percorridas pelos materiais trocados por empresas participantes do Programa Nacional de Incentivo a Simbiose Industrial (*National Industrial Symbiosis Programme – NISP*) no Reino Unido. Os autores identificaram que metade das trocas entre as organizações ocorreu num raio de cerca de 32km, porém algumas relações de SI envolveram distâncias superiores a 400km (JENSEN *et al.*, 2011).

Já a cooperação necessária entre as organizações participantes de uma rede de SI pode ocorrer através de três modalidades principais: transferência de subprodutos entre organizações com o intuito de reaproveitamento em novos processos produtivos; compartilhamento de uma rede de distribuição de insumos comuns a várias empresas, como água, energia elétrica, vapor; e a presença de um sistema que provenha serviços de suporte comuns as empresas parceiras (CHERTOW; ASHTON; ESPINOSA, 2008).

Apesar de sua origem recente como área de estudo, atividades incipientes e não formalizadas de SI já eram praticadas no passado (DESROCHERS, 2001). Por exemplo, Bogart (1936, apud DESROCHERS, 2001) afirma que a criação de suínos no início da colonização dos Estados Unidos já se beneficiava da proximidade com destilarias, pois durante o processo de destilação,

uma massa de cereais rica em nutrientes é gerada como subproduto, e pode ser utilizada como ração para animais.

Assim, como forma de diferenciar trocas usuais de materiais e recursos naturais das práticas estruturadas de simbiose industrial, Chertow (2007) estabeleceu o uso de uma “heurística 3-2” como requisito para identificação da relação de SI, na qual é necessário o envolvimento de ao menos três empresas distintas e de dois fluxos únicos de subprodutos, resíduos, água, vapor, energia.

Através do estudo de 15 projetos propostos pelo governo dos Estados Unidos para a difusão da simbiose industrial e mais 12 iniciativas em diversos países, a pesquisadora também identificou dois modelos principais pelos quais a SI pode ser executada (CHERTOW, 2008):

- Modelo de simbiose planejada: nesse modelo, as empresas procuram ativamente e conscientemente parceiros para desenvolvimento de projetos que incluem a troca de materiais e recursos naturais, podendo incluir o reposicionamento de unidades produtivas.
- Modelo de simbiose espontânea (ou auto-organizada): nesse modelo, as empresas buscam parcerias sob a ótica de mercado, priorizando projetos que visam a redução de custos operacionais ou o aumento dos lucros obtidos.

As experiências obtidas através do programa de incentivo e promoção da SI nos Estados Unidos, e iniciativas em países europeus e no Canadá na década de 1990 e início dos anos 2000 constataram que o maior índice de sucesso durante a fase de implementação era obtido através do modelo de simbiose espontânea (CHERTOW; ASHTON; ESPINOSA, 2008; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; GIBBS; DEUTZ, 2007). Um dos motivos pelo qual a simbiose planejada encontra dificuldade de execução é a mudança repentina que pode ocorrer na disponibilidade de certo subproduto ou resíduo, seja por mudança tecnológica ou inovação de processo, já que o objetivo de uma companhia é produzir um fluxo constante de produto final, e não de elementos de menor valor agregado (DESROCHERS, 2001).

Entretanto, com o amadurecimento dos programas de estímulo a produção mais limpa no leste asiático, especialmente na China e na Coreia do Sul, países onde existe maior tendência de planejamento central mesmo dentre organizações industriais, experiências positivas envolvendo a aplicação do modelo planejado de SI foram verificadas (BAI *et al.*, 2014; BEHERA *et al.*, 2012; LIU *et al.*, 2018).

Baseados na revisão de três trabalhos anteriores, bem como em observações empíricas, os pesquisadores Chertow e Ehrenfeld (2012) propuseram um *framework* de evolução para relações de simbiose composto de três etapas:

- Nascimento: nessa etapa, as empresas iniciam o compartilhamento de recursos naturais e materiais, orientadas pela lógica de mercado, ou seja, a principal razão para a parceria é o retorno financeiro positivo trazido pela cooperação entre as partes. Mas também a relação de cooperação pode surgir a partir do incremento de pressões regulatórias, do aumento do preço de insumos ou do custo de tratamento de resíduos. Uma relação de simbiose somente sobrevive caso seja economicamente viável.
- Descoberta: As organizações parceiras tomam consciência dos efeitos ambientais positivos provenientes dos projetos em conjunto, e passam a agir de forma deliberada para aumentar a cooperação entre os nós da rede de suprimentos, através da expansão do número de atores e da elevação do nível de confiança entre os parceiros. Essa etapa se relaciona com o estágio de aprendizado regional no modelo proposto por Baas e Boons (2004) para as fases evolutivas das iniciativas de ecologia industrial.
- Incorporação e institucionalização: A expansão da rede de empresas passa a ser gerida por um órgão institucional criado para garantir a longevidade tanto das parcerias já estabelecidas como das futuras relações de cooperação.

O *framework* proposto estabelece a necessidade de um processo de descoberta das relações de SI como um ponto de conexão entre os modelos espontâneo e planejado de simbioses (CHERTOW; EHRENFELD, 2012). Essa identificação pode ocorrer de forma *top-down*, ou seja, através da ativa investigação dos gestores do parque industrial e realização de um estudo formal de viabilidade da simbiose; ou seguindo a abordagem *bottom up*, baseada na comunicação e ação direta entre os gestores das empresas participantes (PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019).

Os benefícios da adoção de práticas de SI são similares àqueles identificados para a implementação de atividades de ecologia industrial, e são verificados tanto em parques industriais com empresas de setores similares, como polos petroquímicos, por exemplo, como também para estabelecimentos mais diversificados (CHERTOW, 2008). Além dos ganhos econômicos e em performance ambiental e social, a simbiose industrial é uma importante ferramenta para aumentar a colaboração entre empresas como um todo, pois com o aumento da relação de confiança entre as firmas participantes, essas organizações podem passar a

compartilhar informações, equipamentos e funcionários, além dos tradicionais fluxos de materiais (CHERTOW; EHRENFELD, 2012).

2.4. ECOPARQUES INDUSTRIAIS

Um Ecoparque Industrial (EPI) é um empreendimento no qual as empresas, geralmente colocalizadas, buscam melhorar sua performance ambiental conjunta por meio do estabelecimento de relações de simbiose industrial e da adoção de gestão compartilhada de serviços e projetos de infraestrutura (DEUTZ; GIBBS, 2004). Para Chertow (2000, p. 314), “os EPIs são examinados como realizações concretas do conceito de simbiose industrial”.

Uma definição mais abrangente do conceito de EPI é apresentada pelos pesquisadores Lowe, Moran e Holmes (1996):

Um EPI é uma comunidade de empresas de manufatura e serviços que busca melhorar seu desempenho ambiental e econômico por meio da colaboração no gerenciamento de questões ambientais e de recursos. Ao trabalhar em conjunto, a comunidade de negócios busca um benefício coletivo superior à soma dos benefícios individuais que cada empresa obteria se otimizasse apenas seu desempenho individual (LOWE; MORAN; HOLMES, 1996, p. XII, tradução do autor).

Dessa forma, um EPI se diferencia de um parque industrial tradicional ao aplicar em conjunto diversas estratégias de gestão ambiental que normalmente são aplicadas separadamente (LOWE; MORAN; HOLMES, 1996).

A literatura aborda dois tipos fundamentais de EPIs (CHERTOW; EHRENFELD, 2012):

- *Greenfield*: esse tipo representa os parques industriais ainda não desenvolvidos (virgens), e são os que oferecem maior flexibilidade e oportunidade de aplicação dos conceitos de EI, já que serão levados em conta durante as fases de planejamento e comercialização (ou alocação) dos lotes (LOWE; MORAN; HOLMES, 1996)
- *Brownfield*: esse tipo de EPI é resultado da conversão de um parque industrial tradicional através da adoção dos conceitos de EI e identificação de simbioses entre as empresas já presentes (LOWE; MORAN; HOLMES, 1996).

Nos EPIs do tipo *greenfield*, os gestores do parque podem selecionar os potenciais inquilinos com base em seus *inputs* e *outputs* de materiais e recursos, como forma de maximizar o número de simbioses no empreendimento, ou concentrar parceiros para a realização de um projeto em particular (BELAUD, Jean-Pierre *et al.*, 2019; RIBEIRO *et al.*, 2018). Nesse contexto, os EPIs *brownfield* possuem menor flexibilidade em consequência do seu poder reduzido de atração, já que boa parte das empresas considera a possibilidade de realização de simbioses um critério

secundário durante o processo de tomada de decisão para novas instalações ou realocação (GIBBS; DEUTZ, 2005, 2007).

Uma figura importante durante o processo de desenvolvimento de um EPI é a do iniciador, ator que passa a inicialmente coordenar os esforços para o desenvolvimento de um novo EPI, e cujo papel pode ser assumido por uma agência governamental, instituto de pesquisa, consórcio de empresas, sindicato de trabalhadores ou câmara de comércio (LUKEN *et al.*, 2016; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012).

Conforme apresentado no *framework* de evolução de relações de simbiose industrial elaborado por Chertow e Ehrenfeld (2012), após a fase de descoberta e implementação, a gestão do EPI tende a ser responsabilidade de um órgão institucional, que por vezes é formado por atores iniciadores do parque.

Um outro elemento que pode auxiliar na organização inicial das relações de simbiose é o chamado inquilino âncora (BELLANTUONO; CARBONARA; PONTRANDOLFO, 2017). No varejo, um inquilino âncora é uma grande loja que cria demanda para estabelecimentos menores localizados no mesmo centro de compras (AGRAWAL; COCKBURN, 2003). Similarmente, no contexto industrial uma empresa é considerada um inquilino âncora quando movimentada uma grande quantidade de materiais e recursos e passa a atrair companhias de menor porte para seu entorno, aumentando a possibilidade de existência e do desenvolvimento de relações de simbiose. (LOWE, 1997; LOWE; MORAN; HOLMES, 1996).

Heterogeneidade é a característica que define o nível de diversificação dos fluxos de trocas de materiais e recursos em um EPI e é facilitada pela maior diversidade de indústrias presentes (BELLANTUONO; CARBONARA; PONTRANDOLFO, 2017). Para Pellenbarg (2002), a alta diversidade de empresas bem como a presença de fluxo de itens que se complementam aumentam as chances de sucesso de um EPI, enquanto que os pesquisadores Côté e Smolenaars (1997) indicam que a baixa diversidade em um ecossistema industrial pode levar a instabilidades.

Quanto à natureza do processo decisório, Taddeo (2016) reforça a importância de uma estrutura centralizada de decisão e gestão das atividades do EPI, como forma de aumentar a eficiência produtiva, e também de reduzir os custos com a gestão ambiental.

Ao examinar as relações de simbiose industrial desenvolvidas pelas empresas do Reino Unido, Mirata (2004) identificou cinco categorias de fatores que influenciam o desenvolvimento de SI

em redes de empresas. O Quadro 2 apresenta as categorias de fatores que influenciam o desenvolvimento de redes de SI, bem como seus elementos constituintes.

Quadro 2 – Fatores que influenciam o desenvolvimento e as características operacionais das redes de SI

Categoria	Elementos constituintes dos fatores
Técnica	Atributos físicos, químicos e locacionais dos fluxos de entrada e saída
	Necessidades e capacidades do processo produtivo, serviços (água, energia, e gestão de resíduos), logística e gestão de recursos
	Disponibilidade de tecnologias confiáveis e economicamente viáveis que facilitem as sinergias
Política	Políticas ambientais abrangente
	Natureza e implicações das leis e regulamentações relevantes
	Impostos, taxas, multas, tributos, subsídios e créditos ofertados
Econômica e financeira	Custo de insumos virgem, valor dos fluxos de resíduos e subprodutos e impactos de elementos políticos
	Parâmetros de economia de custos, potencial de geração de receita, tempo de <i>payback</i> , retorno sobre o investimento
	Tamanho do investimento de capital e custo de manutenção de sinergias
Informacional	Resistência para disponibilizar informações
	Disponibilidade de informação oportuna e confiável de um amplo espectro de áreas para as partes certas
	Um sistema de gerenciamento de informação que monitoraria sistematicamente e avaliaria a conveniência e viabilidade de várias opções
Organizacional e motivacional	Confiança
	Abertura entre os parceiros e para novas ideias
	Percepção de risco
	Nível de interação social e proximidade mental

Fonte: Adaptado de Mirata (2004, p. 970).

2.4.1. Iniciativas eco-industriais em países desenvolvidos

O parque industrial estabelecido na cidade de Kalundborg na Dinamarca desenvolveu espontaneamente diversas relações de simbiose industrial desde 1961, e se tornou o exemplo mais conhecido de aplicação da ideia de ecologia industrial em um ambiente produtivo (BRANSON, 2016; EHRENFELD; GERTLER, 1997).

A rede de simbioses industriais no parque é composta por cinco empresas principais, juntamente Município de Kalundborg (JACOBSEN, 2008; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018):

- *Asnæs Power Station*: uma das maiores usinas termelétricas do país operadas pelo grupo dinamarquês Ørsted A/S (antes conhecido como DONG A/S – *Danish Oil and Natural Gas*), com capacidade de geração de 1500MW. Inicialmente movida a carvão e óleo, a usina iniciou processo de conversão para geração de energia através da queima de biomassa em 2017 (ORSTED, 2019). A *Asnæs Power Station* atua como inquilino

âncora no parque industrial de Kalundborg, devido ao grande fluxo de recursos movimentados (BRANSON, 2016);

- *Equinor Refinery*: a maior refinaria em operação na Dinamarca possui capacidade de produção de 5,5 toneladas por ano de derivados do petróleo como gasolina, diesel, propano, óleo para aquecimento e óleo combustível, e é operada pela multinacional de origem norueguesa Equinor (antiga Statoil) (EQUINOR, 2020; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018; PETROFF, 2018);
- *Novo Nordisk*: a multinacional dinamarquesa do setor farmacêutico se instalou em Kalundborg em 1969, e atualmente o local responde por metade da produção de insulina sintética no mundo (NOVO NORDISK, 2020). O local também conta com uma unidade produtiva da Novozymes, empresa do mesmo grupo especializada na produção de enzimas e outras soluções biológicas (BRANSON, 2016);
- *Bioteknisk Jordrens*: companhia especializada na recuperação de solo contaminado com capacidade de processamento de 300.000 toneladas por ano (MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018);
- *Gyproc Saint Gobain*: empresa produtora de gesso e placas *drywall* atualmente sob o controle da multinacional francesa Saint Gobain (EHRENFELD; GERTLER, 1997);
- Município de Kalundborg: com uma população de cerca de 20.000 habitantes, o município de Kalundborg também é um ator importante no sistema de simbiose industrial (EHRENFELD; GERTLER, 1997; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018).

A primeira relação de simbiose no parque foi registrada em 1961 entre o município de Kalundborg e a refinaria de petróleo, que a época era administrada pela divisão dinamarquesa da Veedol, com o objetivo de captar água do lago Tisso para utilização no processo produtivo e resfriamento dos equipamentos (BRANSON, 2016; EHRENFELD; GERTLER, 1997). A construção da infraestrutura de captação foi realizada pelo município enquanto que o financiamento da obra foi disponibilizado pela Veedol (BRANSON, 2016).

Em 1972, a Gyproc estabeleceu um gasoduto ligando sua fábrica a refinaria de petróleo, a fim de utilizar os gases residuais do processo de refino nos fornos industriais da empresa (EHRENFELD; GERTLER, 1997; JACOBSEN, 2008). No ano seguinte, a infraestrutura de captação de água do lago Tisso foi ampliada e passou a abastecer também a usina termelétrica *Asnæs* (BRANSON, 2016; EHRENFELD; GERTLER, 1997).

Em 1979, a *Asnæs* passou a vender as cinzas volantes, um resíduo obtido através da queima de carvão, para empresas produtoras de cimento na região (EHRENFELD; GERTLER, 1997). Dois anos depois, a empresa passou a fornecer vapor a alta temperatura para os moradores de Kalundborg através de dutos, possibilitando a eliminação das fornalhas a lenha que antes eram utilizadas para o aquecimento das residências (BRANSON, 2016; EHRENFELD; GERTLER, 1997).

Devido a uma mudança na legislação ambiental que determinou que a *Asnæs* não poderia mais liberar resíduos contendo enxofre na atmosfera, a diretoria da usina decidiu instalar um novo depurador que produz sulfato de cálcio (gesso industrial) como subproduto (BRANSON, 2016). Assim, a *Asnæs* estabeleceu uma relação de simbiose com a Gyproc, passando a fornecer dois terços do gesso necessário para a sua produção de placas *dry wall* (EHRENFELD; GERTLER, 1997).

Ao examinar as relações de simbiose industrial em Kalundborg, os pesquisadores Ehrenfeld e Gertler (1997) identificaram 11 fluxos compartilhados de materiais e recursos entre as empresas localizadas no parque, a administração municipal e fazendeiros próximos. Posteriormente, ao reexaminar a experiência de aplicação de simbiose industrial no local, Branson (2016) registrou 30 relações de SI que incluíam desde recursos naturais, resíduos, subprodutos, produtos e serviços.

Ao analisar as relações entre empresas na província austríaca de Styria, os pesquisadores Schwarz e Steininger (1997) identificaram vínculos similares àqueles registrados em Kalundborg, onde as companhias passaram a compartilhar materiais e recursos ao longo do tempo devido com o intuito de redução dos custos de operação. É válido ressaltar que apesar dos ganhos econômicos e benefícios ambientais alcançados em ambas as situações, as empresas participantes não estabeleceram a expansão da rede de SI como prioridade até que elas fossem “descobertas” (CHERTOW; EHRENFELD, 2012).

Mirata (2004) examinou as características, fatores determinantes e desafios do Programa Nacional de Simbiose Industrial (NISP) desenvolvido pelo Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (*Business Council for Sustainable Development – BCSD*) no Reino Unido. Inicialmente adotado em três regiões da Inglaterra, o NISP abrange hoje mais 13.000 empresas em toda a Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, e seu modelo de simbiose facilitada foi replicado em outros países (MIRATA, 2004; PAQUIN; HOWARD-GRENVILLE, 2012).

Nos Estados Unidos, o Conselho Presidencial para o Desenvolvimento Sustentável (*President's Council on Sustainable Development* – PCSD) em parceria com a EPA estabeleceu em 1994 um programa para a promoção do desenvolvimento sustentável através do estabelecimento de EPIs piloto em quatro regiões (LOWE; EVANS, 1995; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018):

- *Fairfield Ecological Industrial Park* (Baltimore – Maryland);
- *Port of Cape Charles Sustainable Technologies Industrial Park* (Cape Charles – Virginia);
- *Brownsville Eco-Industrial Park* (Brownsville – Texas);
- *The Volunteer Site* (Chattanooga – Tennessee).

Em 1996, visando a expansão do projeto, o PCSD propôs o planejamento, construção e adaptação de 15 empreendimentos industriais que deveriam seguir o modelo de um EPI, incluindo uma iniciativa no Canadá (PCSD, 1996; CHERTOW; EHRENFELD, 2012). O Quadro 3 apresenta os EPIs propostos pelo PCSD, e sua situação operacional.

Quadro 3 – EPIs propostos pelo PCSD e sua situação operacional (continua)

Nome do empreendimento	Local	Situação
<i>Fairfield Ecological Industrial Park</i>	Baltimore – Maryland	Inaugurado com mudança de conceito
<i>Port of Cape Charles Sustainable Technologies Industrial Park</i>	Cape Charles – Virginia	Fechado
<i>Brownsville Eco-Industrial Park</i>	Brownsville – Texas	O conceito de trocas regionais fracassou
<i>The Volunteer Site</i>	Chattanooga – Tennessee	Inaugurado como um parque industrial tradicional
<i>Riverside Eco-Industrial Park</i>	Burlington – Vermont	Inaugurado com mudança de conceito
<i>Burnside Eco-Industrial Park</i>	Halifax – Nova Scotia (CA)	Inaugurado como parque industrial e centro de P&D
<i>East Bay Eco-Industrial Park</i>	Alameda County – California	Planejado, porém com conceito alterado
<i>Green Institute Eco-Industrial Park</i>	Minneapolis – Minnesota	Inaugurado como um projeto de desenvolvimento sustentável
<i>Plattsburgh Eco-Industrial Park</i>	Plattsburgh – New York	Inaugurado como um parque industrial tradicional
<i>Raymond Green Eco-Industrial Park</i>	Raymond – Washington	Nunca foi desenvolvido
<i>Skagit County Environmental Industrial Park</i>	Skagit County – Washington	Nunca foi desenvolvido
<i>Shady Side Eco-Business Park</i>	Shady Side – Maryland	Nunca foi desenvolvido
<i>Stonyfield Londonderry Eco-Industrial Park,</i>	Londonderry – New Hampshire	Inaugurado, porém com situação incerta
<i>Trenton Eco-Industrial Complex</i>	Trenton – New Jersey	Nunca foi desenvolvido

Fonte: Adaptado de Chertow (2007, p. 16 - 17).

Como apresentado no Quadro 3, dez anos após o início do projeto, apenas dois empreendimentos (*Burnside Industrial Park* e *Green Institute Eco-industrial Park*) foram concluídos mantendo-se fieis à noção de desenvolvimento sustentável, com o restante ou abandonando o conceito original e se desenvolvendo como um parque tradicional, ou nem ao menos sendo desenvolvido (CHERTOW, 2008).

A baixa taxa de sucesso dos projetos capitaneados pelo PCSD pode estar relacionada a dependência que esses empreendimentos tinham de recursos públicos, bem a seleção de alguns

projetos apenas pelo impacto midiático nas comunidades beneficiadas (CHERTOW, 2008). Devido a essa experiência negativa, o conceito de EPI ficou associado a baixos rendimentos e a um alto índice de falhas durante a implementação nos Estados Unidos (CHERTOW, 2008).

Daddi, Tessitore e Testa (2015) analisaram a situação de cinco EPIs em diferentes regiões da Itália e identificaram um alto grau de compartilhamento de serviços de apoio a manufatura e de infraestrutura, mas também indicaram a ausência de fluxos de trocas de materiais devido à alta fragmentação dos parques.

Os gestores de um novo EPI *greenfield* na região de Toulouse, no sul da França adotaram uma abordagem de aproximação e conciliação com a comunidade local, que se mostrou inicialmente contrária ao projeto (BELAUD, Jean-Pierre *et al.*, 2019; BELAUD, Jean Pierre *et al.*, 2017). Ao mesmo tempo, a cidade de Sablons localizada a 60km de Lyon, se prepara para converter um parque industrial tradicional em EPI multifuncional e com acesso a diferentes modais de transporte (RIBEIRO *et al.*, 2018).

2.4.2. Iniciativas eco-industriais em países em desenvolvimento

Iniciativas eco-industriais também estão presentes em países em desenvolvimento, e contam com o apoio da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (*United Nations Industrial Development Organization – UNIDO*) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme – UNEP*), que em 1994 lançaram o Programa de Produção Mais Limpa e Eficiente em Recursos (*Program on Resource Efficient and Cleaner Production – RECP*), cujo objetivo é a criação de centros nacionais de disseminação de boas práticas ambientais em empreendimentos industriais (LUKEN *et al.*, 2016).

Fundado em 1998, o centro vietnamita possui a responsabilidade de introduzir um sistema nacional de fomento e gestão de EPIs, com objetivo de tanto reduzir a quantidade de matérias-primas e recursos naturais necessários, como também expor novas técnicas produtivas. Atualmente, a iniciativa atinge 3 das 321 zonas industriais formais do Vietnam (MASSARD; LEUENBERGER; DONG, 2018).

Na Tailândia, um projeto pioneiro existe desde 2001 em parceria com a agência de Cooperação Técnica Alemã (*Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit – GTZ*), onde cinco centros industriais foram selecionados para difusão de conceitos de sustentabilidade e gestão de resíduos e recursos naturais, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental negativo dessas

áreas para a comunidade (PANYATHANAKUN *et al.*, 2013). Em 2013, o governo tailandês decidiu estender o programa as demais regiões industriais do país, devido a crescente preocupação com os níveis de poluição causados por esse tipo de empreendimento (PILOUK; KOOTTATEP, 2017).

O centro nacional sul-coreano foi incorporado ao RECP em 2001, passando a integrar a rede global de colaboração das Nações Unidas (LEE; KIM; KIM, 2011). Em 2005, o Governo da Coreia do Sul delegou ao seu centro nacional a liderança de um projeto de longa duração para o estabelecimento de EPIs nas principais zonas industriais do país (PARK, Hung-Suck; WON, 2008). Posteriormente, a liderança desse projeto foi transferida para a Corporação do Complexo Industrial da Coreia (*Korea Industrial Complex Corporation – KICOX*), agência que responde ao Ministério da Economia do Conhecimento (BEHERA *et al.*, 2012).

Com duração prevista de 15 anos, o projeto concebido consiste de três fases (BEHERA *et al.*, 2012; PARK, Hung-Suck; WON, 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016):

- 1ª fase (2005-2009): realização de estudos de viabilidade em cinco grandes áreas industriais selecionados em diferentes regiões do país;
- 2ª fase (2010-2014): promoção de encontros com gestores das empresas presentes em 7 complexos industriais escolhidos para demonstração de conceitos de simbiose industrial, práticas de produção mais limpa, e design de parques eco-industriais. Posteriormente, 30 outros centros industriais associados também receberam as palestras;
- 3ª fase (2015-2019): estabelecimento de uma rede integrada entre os EPI desenvolvidos.

A Tabela 1 apresenta as regiões e complexos industriais escolhidos para a primeira fase do programa nacional de promoção de EPIs na Coreia do Sul, bem como suas principais características.

Tabela 1 – Regiões e complexos industriais escolhidos para a primeira fase do programa sul-coreano

Área	Complexo industrial	Nº de empresas em operação	Produção (US\$ bilhões)	Principais produtos
Gyeonggi	Banwol	2487	20,7	Maquinários, eletroeletrônicos, petroquímico e têxtil
	Sihwa	4530	20,9	Maquinários, aço e químico
Ulsan	Ulsan Mipo	557	73,8	Automóveis, construção naval, petroquímico
	Onsan	194	18,5	Refinaria, não metais, celulose e papel
Yeosu	Yeosu	126	37,8	Refinaria, petroquímico e fertilizantes
Pohang	Pohang	198	14,3	Aço e metais
Cheongju	Cheongju	233	7,5	Eletroeletrônicos, Maquinários, petroquímico e alta tecnologia

Fonte: Adaptado de KICOX (2006, apud Park, Park e Park, 2016, p. 37).

O programa desenvolvido na Coreia do Sul atua mediante o modelo *hub-and-spoke*, com os complexos industriais piloto escolhidos na primeira fase atuando como centros de disseminação de conceitos e coordenação de fluxos de materiais e recursos, e os parques industriais de menor porte atuando como raios que estendem o alcance do sistema nacional de ecoparques industriais, aumentando sua capilaridade e área de atuação (PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019).

Na China, a decisão de adoção de iniciativas de SI está ligada ao alto índice de deterioração do meio ambiente, sobretudo em regiões predominantemente industriais, já que o desenvolvimento desses empreendimentos busca reduzir o nível de saturação das soluções *end-of-pipe* (CHERTOW, 2008). O centro nacional de promoção de práticas de produção mais limpa chinês foi inaugurado em 1995, e faz parte dos cinco primeiros centros implementados pela parceria UNEP-UNIDO, juntamente com Índia, México, Tanzânia e Zimbábue (LUKEN *et al.*, 2016).

A economia circular passou a integrar a estratégia de desenvolvimento do modelo econômico chinês no final da década de 1990, com a Agência Estatal de Proteção Ambiental (*State Environmental Protection Administration – SEPA*) assumindo o controle dos programas de promoção da economia circular (Programa Nacional de Zonas de Economia Circular) e de

ecoparques industriais (Programa Nacional de EPI Piloto) em 2001 (MATHEWS; TAN, 2011; ZHANG *et al.*, 2010).

Devido a posição estratégica que a economia circular ocupa dentro do planejamento da economia chinesa, o Programa Nacional de Zonas de Economia Circular foi colocado sobre tutela da Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (*National Development and Reform Commission* – NDRC) em 2004 (ZHANG *et al.*, 2010).

Os parques industriais que desejam fazer do Programa Nacional de EPI Piloto devem passar por um criterioso processo de seleção que envolve a realização de uma auditoria que verifica as possíveis fontes de financiamento do projeto, simbioses já existentes, o *compliance* do parque industrial frente as leis e regulamentações existentes e quais serão os impactos ambientais gerados (BAI *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2010). Após a auditoria, os gestores do parque devem preparar um plano de implementação e um relatório técnico de planejamento para o EPI, que será avaliado através de um painel de especialistas da SEPA, Ministério do Comércio e Ministério da Ciência e Tecnologia (ZHANG *et al.*, 2010). Se aprovado, o parque se torna um EPI piloto, devendo enviar um relatório anual para o grupo de fiscalização, e caso deseje, pode iniciar um processo de certificação baseado na performance ambiental dos últimos três anos (ZHANG *et al.*, 2010). Até 2009, a China possuía 33 EPIs pilotos, sendo 5 deles certificados (ZHANG *et al.*, 2010):

- Parque industrial de Suzhou;
- Parque de desenvolvimento de alta tecnologia de Suzhou;
- Zona de Desenvolvimento Técnico e Econômico de Tianjin (TEDA);
- Novo Distrito de Wuxi;
- Zona de Desenvolvimento Econômico e Tecnológico de Yantai.

Já no fim de 2012, o país contava com 64 parques no Programa Nacional de EPI Piloto, sendo 15 deles oficialmente certificados e 49 em processo de construção e adequação (BAI *et al.*, 2014).

2.4.3. Iniciativas eco-industriais no Brasil

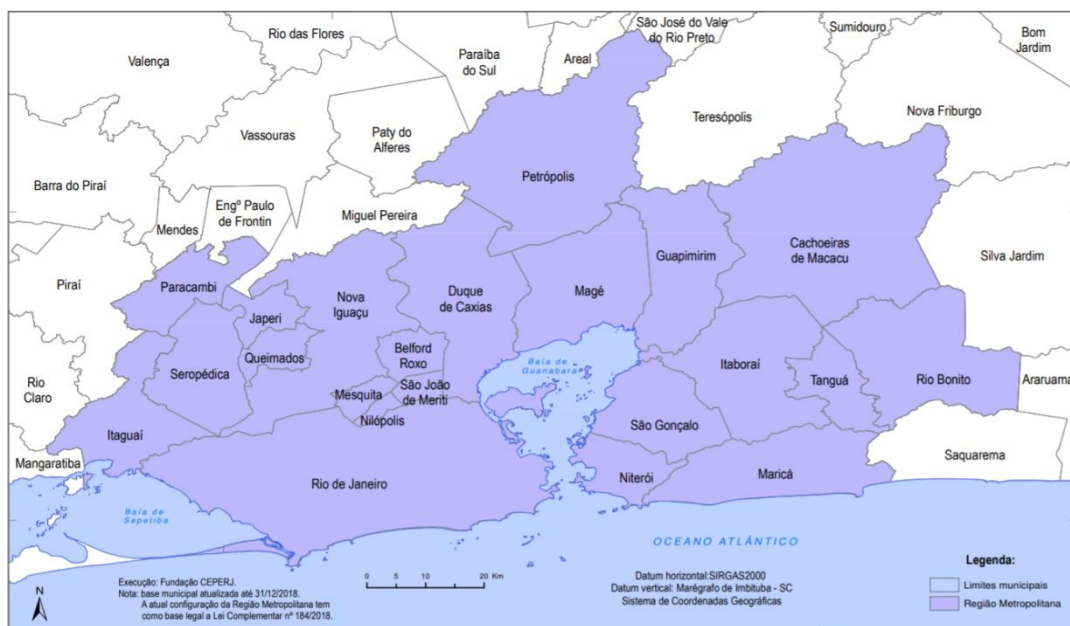
O Brasil faz parte do RECP desde 1995, com o centro nacional sendo criado e gerido com o apoio do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) no estado do Rio Grande do Sul (LUKEN *et al.*, 2016; SENAI - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2014). Em parceria com o Conselho Empresarial Brasileiro para o

Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o SENAI-RS coordenou a abertura de núcleos de produção mais limpa em mais 16 estados até 2004, formando a Rede Brasileira de Produção Mais Limpa (PEREIRA; SANT'ANNA, 2012; SENAI - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2014). Apesar do carácter mais descentralizado e regional, o centro nacional brasileiro possui convênio para a realização de treinamento em Moçambique, e também desenvolve treinamento com troca de conhecimento na Argentina, Cabo Verde, Equador e Paraguai (LUKEN *et al.*, 2016; SENAI - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2014).

A iniciativa de simbiose industrial mais bem documentada no Brasil foi realizada na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), onde um programa foi proposto com o objetivo de incentivar empresas daquela localidade a aumentar o número de interações e trocas de subprodutos e outros materiais (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; TREVISAN *et al.*, 2016).

A RMRJ foi instituída através da fusão dos estados do Rio de Janeiro e da Guanabara em 1974, e atualmente compreende 22 municípios, somando uma população de cerca de 13 milhões de habitantes e com uma economia ampla e diversificada de 513 bilhões ao ano (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019, 2017; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018). A Figura 5 apresenta o mapa com os municípios que compõe a RMRJ.

Figura 5 – Mapa da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ)



Fonte: CEPERJ (2019).

Em 1981, foi estabelecido um sistema de zoneamento que determinou a criação de três tipos de áreas industriais: Zona de uso Estritamente Industrial (ZEI), Zona de Uso Predominantemente Industrial (ZUPI), e Zona de Uso Diversificado (ZUD) (RIO DE JANEIRO, 1981). Devido a crescente preocupação com a poluição gerada pelas indústrias no Estado do Rio de Janeiro, a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEEMA) atuou para avaliar e reconfigurar a estrutura de zoneamento na RMRJ (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018).

O estudo foi realizado pelo consórcio formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na competência do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COOPE), e pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM) e indicou que apenas 20% das indústrias de transformação da RMRJ estavam contidas dentro das 56 zonas industriais estabelecidas, sendo 11 ZEI e 45 ZUPI (MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018). A solução apontada pelo estudo foi a de converter 9 zonas industriais que apresentavam maiores oportunidades de expansão em ecoparques industriais (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009).

O Programa de Fomento ao Desenvolvimento Industrial Sustentável do Estado do Rio de Janeiro (Rio Ecopolo) foi criado em junho de 2002, com o objetivo de modernizar o parque industrial fluminense, melhorar a situação ambiental e incentivar o desenvolvimento sustentável, por meio da criação de EPIs fomentados através de incentivos fiscais. Para o projeto piloto a ZEI de Santa Cruz – Campo Grande foi escolhida para demonstrar a viabilidade do projeto, que posteriormente foi estendido às zonas de Campos Elísios e Fazenda Botafogo (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009).

A época da implementação do Rio Ecopolo, a ZEI de Santa Cruz – Campo Grande apresentava um perfil diversificado, abrangendo indústrias químicas, metalmecânicas, têxteis, plásticas, entre outras, possibilitando a identificação de 15 possíveis simbioses pelo estudo de viabilidade realizado (MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018). Sob a coordenação da Associação das Empresas do Distrito Industrial de Santa Cruz e Adjacências (AEDIN), o EPI de Santa Cruz foi inaugurado em setembro de 2002 e diversas ações de melhoria da performance ambiental foram realizadas (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009):

- Elaboração de um plano de gestão ambiental;
- Aumento da conformidade com a legislação ambiental vigente;
- Plantio de árvores silvestres no entorno do EPI;

- Estabelecimento de áreas compartilhadas entre os inquilinos;
- Aproximação da comunidade por meio do desenvolvimento de um programa voluntário de reciclagem e ações sociais e educacionais.

Entretanto, mesmo após a realização de inventário e estudo de viabilidade, nenhuma relação compartilhamento de resíduos entre as empresas participantes do EPI foi desenvolvida (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009).

Posteriormente, o parque industrial planejado de Paracambi também foi adicionado ao programa Rio Ecopolo, sendo desenvolvido como um EPI *greenfield* com o apoio de incentivos fiscais disponibilizados pela prefeitura local (MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018). O parque conta com um sistema de captação e reuso de água pluvial, estação compartilhada de tratamento de efluentes, uso de fontes renováveis de energia, serviços compartilhados entre os inquilinos, e instalações disponíveis a todos os funcionários, com cantinas e áreas de lazer (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009).

Cinco anos após o início do programa Rio Ecopolo, mudanças ocorridas na administração pública fizeram com que o governo do Estado do Rio de Janeiro deixasse o projeto, diminuindo grandemente os incentivos e a motivação dos participantes, levando eventualmente a sua estagnação (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009).

Outros trabalhos se dedicaram a examinar a viabilidade de aplicação de EPIs em diferentes contextos. Trama (2016) identificou a possibilidade de implementação de um EPI no distrito industrial de José Vieira de Mendonça em Vespasiano (MG). Já Nascimento (2017) elaborou um estudo de viabilidade para a transformação da Zona Franca de Manaus em um ecoparque industrial. Entretanto, apesar de confirmadas as viabilidades dos projetos, nenhum foi implementado (NASCIMENTO, 2017; TRAMA, 2016).

A implementação de ecoparques industriais em países com pouco conhecimento dos conceitos e baixo índice de preocupação ambiental é mais complexa, pois exige maior comprometimento por parte dos *stakeholders* envolvidos no processo (MASSARD; LEUENBERGER; DONG, 2018). Essa mesma dificuldade foi relatada por Park e Won (2007) durante a primeira fase do projeto de transformação do parque industrial de Ulsan, na Coreia do Sul.

O quadro 4 apresenta um resumo com os principais conceitos apresentados ao longo desta seção.

Quadro 4 – Principais conceitos teóricos

Conceito	Definição	Principais autores
Economia Circular (EC)	É um modelo econômico alternativo que se inspira nos ciclos naturais, e que busca eliminar a produção de resíduos, através da coordenação de atividades de meio ambiente dentro e fora das organizações para aumentar o ciclo de vida dos produtos, incorporar o uso de energias renováveis no processo de fabricação e durante o uso dos bens.	(ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016)
Ecologia Industrial (EI)	Trata-se de uma visão integrada do sistema de produção, visando transformá-lo em um ecossistema através de relações de interdependência, onde o descarte de uma operação pode servir como matéria-prima de outra.	(ERKMAN, 1997; FROSCHE; GALLOPOULOS, 1989; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018)
Simbiose Industrial (SI)	A SI é uma abordagem baseada no relacionamento entre empresas, que busca analisar e estimular os fluxos de materiais, energia e recursos naturais ao longo de um sistema produtivo, de forma a incentivar a cooperação entre os elos.	(CHERTOW, 2000, 2008; DOMENECH <i>et al.</i> , 2019)
Ecoparque industrial (EPI)	É um conjunto de empresas cujo objetivo em comum é aprimorar a performance ambiental, econômica e social através do compartilhamento de recursos e infraestrutura (SI), tornando-se um ecossistema industrial.	(LOWE, 1997; MAGRINI; ELABRAS VEIGA, 2018; UNIDO, 2017)

Fonte: Autor.

A seguir, é apresentado o *framework* metodológico adotado para esta pesquisa, incluindo as atividades desenvolvidas, e os resultados esperados para cada uma das etapas planejadas.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Nesse capítulo serão abordados os procedimentos metodológicos adotados nessa pesquisa. Os principais conceitos do método de Análise Hierárquica Analítica são apresentados e cada etapa de coleta e análise de dados é discutida em detalhes.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Dada a questão de pesquisa proposta e os objetivos inicialmente traçados, este trabalho possui caráter exploratório-descritivo, ao passo que busca aumentar o conhecimento sobre certo tipo de evento ou indivíduo que atua como objeto de estudo, e que, ao mesmo tempo, almeja retratar suas principais características e propriedades (KOTHARI, 2004; SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2013). A pesquisa também possui natureza empírica pois faz uso das experiências e observações tanto do pesquisador, quanto de entrevistados, porém também há elementos conceituais que podem ser analisados sob a ótica de diferentes teorias organizacionais (KOTHARI, 2004).

Essa pesquisa fez uso de uma combinação de elementos qualitativos e quantitativos para a coleta e análise de dados, pois esse tipo de abordagem mista “amplifica os pontos fortes desses dois tipos de investigação, ao mesmo tempo em que tenta minimizar suas possíveis fraquezas” (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2013). Os autores Sampieri, Collado e Lucio (2013) também listam outras vantagens:

- Perspectiva mais ampliada e profunda;
- Obtenção de dados mais ricos e diversificados;
- Questionamentos mais dinâmicos;
- Maior solidez e rigor científico.

Segundo a questão de pesquisa proposta e os objetivos previamente colocados, existe a necessidade de realizar o levantamento e a hierarquização das atividades e características presentes em EPIs. Para isso, o método do Processo Hierárquico Analítico (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) foi escolhido devido a sua facilidade de uso e implementação, possibilidade de elaboração de um *ranking* entre os critérios e subcritérios, sua escalabilidade que permite acomodar um número maior de atributos e também a oportunidade de medir inconsistências nas respostas obtidas (SAATY, 2008; SALOMON, 2016; VELASQUEZ; HESTER, 2013).

3.2. PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO (AHP)

O método AHP foi desenvolvido pelo pesquisador e professor da Universidade de Pittsburgh Thomas L. Saaty na década de 1970 como uma ferramenta de apoio a tomada de decisão organizacional, devido ao crescente interesse e formalização nessa área do conhecimento à época (SAATY; ERGU, 2015). Esse procedimento pode ser definido como “uma teoria de medição através do uso de comparações pareadas e que se baseia na opinião de especialistas para produzir escalas de prioridade” (SAATY, 2008).

A teoria central do AHP possui quatro axiomas estabelecidos (VARGAS, 1990):

- Comparação recíproca: as opiniões dadas pelos especialistas durante a realização de comparações pareadas devem seguir o princípio da reciprocidade, ou seja, “se [o critério] A é x vezes mais importante que B, então B é $1/x$ vezes mais importante que A”;
- Homogeneidade: a escala utilizada para traduzir as opiniões qualitativas dos especialistas em elementos quantitativos deve ser homogênea e limitada;
- Independência: a opinião dada pelo especialista em cada comparação pareada deve ser independente de outras escolhas já realizadas, para garantir o máximo de equidade possível;
- Expectativas: espera-se que a estrutura hierárquica do problema esteja corretamente mapeada antes da fase de comparações pareadas, como forma de evitar a designação de um fator a um ordenamento ao qual não pertence.

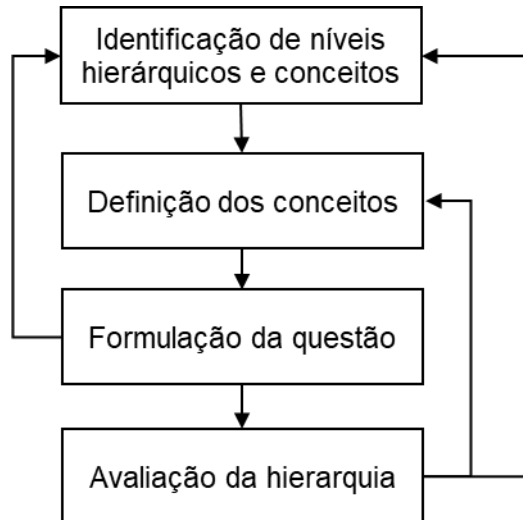
A operacionalização do AHP para a resoluções de questões relativas a tomada de decisão consiste no cumprimento de etapas descritas a seguir (SAATY, 2008):

1. Definição do problema que deve ser solucionado, bem como quais são os objetivos que devem ser alcançados;
2. Estruturação do problema em um arranjo hierárquico, estabelecendo o objetivo da decisão, quais os critérios relevantes e quais as alternativas que serão avaliadas;
3. Construção de uma matriz (ou matrizes) que viabilize as combinações pareadas;
4. Utilização das notas dadas pelo painel de especialistas para cada grupo de comparações pareadas para o estabelecimento de uma classificação de prioridade.

É importante ressaltar que apesar de linear, o modo de condução do método AHP é também iterativo, onde as atividades posteriores podem ajudar a ajustar o foco das ações anteriores, de

modo a refinar o escopo da pesquisa (VARGAS, 1990). A Figura 6 ilustra essa característica do método AHP.

Figura 6 – Desenho da hierarquia do método AHP



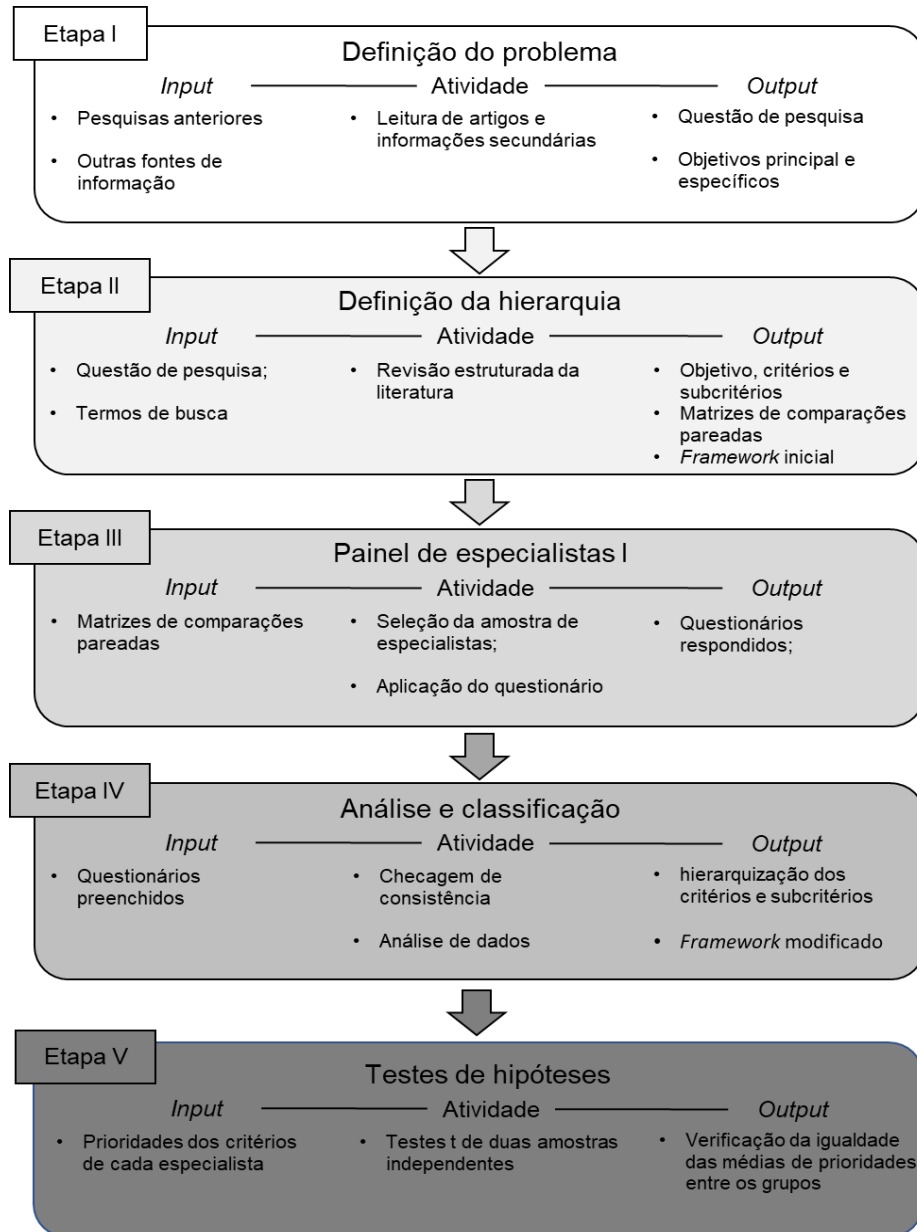
Fonte: Adaptado de Vargas (1990, p. 2).

De acordo com as etapas e características acima descritas, essa pesquisa utilizou o seguinte procedimento metodológico:

- **Etapa I:** Definição do *gap* de literatura por meio de uma revisão inicial dos principais trabalhos nas áreas de ecologia e simbiose industrial, economia circular e EPIs e definição dos objetivos de pesquisa;
- **Etapa II:** Levantamento das práticas que influenciam o desenvolvimento de EPIs por intermédio da realização de uma revisão estruturada da literatura, elaboração do *framework* inicial e definição da hierarquia do AHP;
- **Etapa III:** Construção das matrizes contendo as comparações pareadas, seguida da aplicação para um painel de especialistas formado por dois grupos: acadêmicos e profissionais que atuam na indústria;
- **Etapa IV:** Análise dos julgamentos dados pelos especialistas, elaboração de uma classificação de prioridade entre os critérios e subcritérios levantados e modificação do *framework* proposto;
- **Etapa V:** Adicionalmente, foram realizados testes de hipóteses a fim de comparar se as prioridades médias dos critérios obtidas para o grupo de acadêmicos eram iguais ao do grupo formado pelos profissionais da indústria.

Abaixo, a Figura 7 ilustra o procedimento metodológico adotado, contendo as etapas, questão, e objetivos de pesquisa, bem como os resultados esperados de cada fase.

Figura 7 – Procedimento metodológico



Fonte: Autor.

Nas próximas seções, o conteúdo de cada uma das etapas do procedimento metodológico é apresentado em detalhes, contendo os métodos adotados para as atividades realizadas.

3.3.1. Definição do problema

A primeira etapa da pesquisa consistiu na realização de uma revisão preliminar da literatura, com o objetivo de determinar o *gap* de pesquisa, qual a relevância do tema escolhido, bem como quais as justificativas encontradas que dão validade ao trabalho (CRESWELL, 2014).

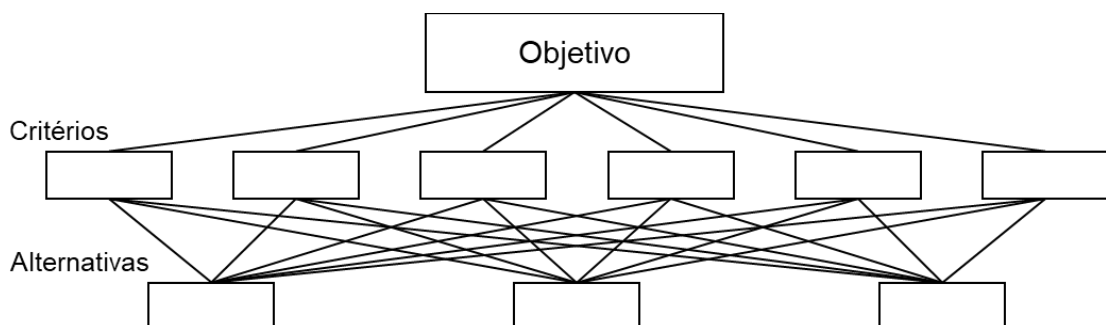
Para a realização dessa revisão inicial de literatura, foi utilizado o método conhecido como *Snowballing*, onde inicialmente, foram identificadas as pesquisas mais relevantes para os temas de desenvolvimento sustentável, economia circular, ecologia industrial, simbiose industrial e ecoparques industriais, e durante a leitura dos artigos selecionados mais pesquisas notáveis foram identificadas no corpo do texto ou na lista de referências citadas, e assim sucessivamente até que não houvesse mais trabalhos relevantes para o tema escolhido (WOHLIN, 2014).

O resultado dessa revisão de literatura é apresentado em detalhes no Capítulo 2, ao passo que as justificativas estão dispostas no Capítulo 1, juntamente com a questão de pesquisa adotada, e os objetivos propostos.

3.3.2. Definição da hierarquia

Ao aplicar o método AHP, um problema de tomada de decisão pode ser estruturado, no mínimo, em três níveis hierárquicos: o objetivo se encontra no nível mais elevado pois este representa a ideia que irá conduzir os esforços de pesquisa; logo abaixo se encontram os critérios (e subcritérios, se houver) e por fim, as alternativas ocupam o nível hierárquico mais baixo (SAATY; VARGAS, 2001). A Figura 8 abaixo ilustra os diferentes níveis hierárquicos presentes durante a fase de estruturação do problema para utilização do método AHP.

Figura 8 – Diferentes níveis de hierarquia



Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2001, p. 3).

Logo, para o estabelecimento da estrutura hierárquica é necessário definir quais serão os critérios e subcritérios que irão auxiliar no alcance do objetivo definido. Pela natureza do estudo,

a avaliação de alternativas não se aplica. Assim, os critérios e subcritérios foram levantados por meio de uma revisão estruturada da literatura, cujo procedimento é apresentado abaixo.

3.3.2.1. Revisão estruturada da literatura

A área de ciências médicas foi a pioneira no aperfeiçoamento da técnica revisão de literatura, ao promover um método transparente e que pudesse ser replicado (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003). O método de revisão estruturada da literatura busca identificar similaridades e diferenças nos estudos já publicados, a fim de identificar *gaps* de pesquisa, relações, tendências e vieses através da comparação e classificação dos estudos consultados.

Notavelmente, os pesquisadores Lage Junior e Godinho Filho (2010) adaptaram o método da revisão estruturada para pesquisas com temas organizacionais, sendo este utilizado e aperfeiçoado por Fiorini e Jabbour (2017). Esse método consiste em realizar a busca de artigos científicos em bases de dados especializadas, utilizando termos condizentes com a questão de pesquisa. Posteriormente, o pesquisador reduz a seleção de artigos extraídos através da leitura dos títulos, resumos e palavras-chaves. Os artigos então selecionados são lidos integralmente e o pesquisador desenvolve um sistema de classificação para categorizar os trabalhos, sendo assim possível identificar as similaridades e diferenças entre eles (DE CAMARGO FIORINI; JABBOUR, 2017; LAGE JUNIOR; GODINHO FILHO, 2010).

Dada a questão central desta pesquisa, e conseqüentemente, o objetivo de elencar as atividades de EPIs bem como suas relações de simbiose sob a ótica da ecologia industrial, estes três termos foram escolhidos por melhor representarem o tema principal do estudo, compreendendo desde publicações clássicas até trabalhos mais recentes.

Ecoparque industrial foi escolhido como termo principal de busca, e foi combinado com os outros dois termos auxiliares. A pesquisa foi realizada nas duas mais importantes bases acadêmicas da atualidade, *Web of Science* e Scopus, devido ao seu amplo acervo (FALAGAS *et al.*, 2008). Foram considerados apenas artigos originais e de revisão publicados em periódicos científicos e em língua inglesa, ou seja, foram excluídos os trabalhos publicados em anais de congresso, capítulos de livros, entre outros. A Tabela 2 sumariza os resultados para cada uma das combinações de termos de busca nas duas diferentes bases de dados.

Tabela 2 – Resultados das buscas nas bases de dados

Base <i>Web of Science</i>	Artigos de periódicos	Artigos de congresso	Artigos de revisão	Outros	Total
"eco-industrial park" AND "industrial symbiosis"	74	26	10	1	108
"eco-industrial park" AND "industrial ecology"	70	20	6	1	96
Total	144	46	16	2	

Base <i>Scopus</i>	Artigos de periódicos	Artigos de congresso	Artigos de revisão	Outros	Total
"eco-industrial park" AND "industrial symbiosis"	137	43	11	10	201
"eco-industrial park" AND "industrial ecology"	146	27	14	14	201
Total	283	70	25	24	

Fonte: Autor.

A pesquisa retornou um total de 160 artigos válidos para a base *Web of Science*, entre artigos originais e de revisão, e um total de 306 para a base *Scopus*. Somadas as duas bases de dados, foram extraídos 468 artigos. A Tabela 3 resume a etapa de extração dos artigos nas bases de dados.

Tabela 3 – Número de artigos extraídos nas bases de dados

Base de dados	Artigos de periódicos	Artigos de revisão	Total
<i>Web of Science</i>	144	16	160
<i>Scopus</i>	283	25	308
Total	427	41	468

Fonte: Autor.

Com o auxílio de um *software* de gestão de artigos, foi possível excluir os resultados duplicados obtidos na etapa anterior. Assim, foram identificados 247 estudos únicos, sendo essa a seleção final de artigos da fase de extração. A Tabela 4 apresenta o número de artigos originais e duplicados retornados durante a fase de busca nas bases de dados.

Tabela 4 - Número de artigos originais e duplicados

Número de artigos extraídos das bases de dados	468
Número de artigos duplicados	-221
Número de artigos originais	247

Fonte: Autor.

A seguir, foi realizada a etapa de leitura dos títulos, resumos e palavras-chaves dos artigos selecionados. Essa etapa compreendeu três rodadas de leitura, para garantir que todos os itens estivessem alinhados com o escopo do estudo. Foram identificados 40 artigos que descrevem as atividades e características de EPIs e suas relações de simbiose através de relatos detalhados. Após a leitura desses artigos, mais 2 estudos foram adicionados por serem citados com relevantes pelas pesquisas selecionadas no relato de EPIs. No total foram selecionados 42 artigos para leitura integral na etapa seguinte. A Tabela 5 resume a etapa de leitura preliminar dos artigos selecionados.

Tabela 5 – Número de artigos selecionados para a leitura integral

Critérios de avaliação	Nº de artigos
Artigos identificados através da busca na base de dados	247
Artigos selecionados após a leitura de título, resumo e <i>keywords</i>	40
Artigos adicionados através de busca não estruturada	2
Total	42

Fonte: Autor.

3.3.3. Painel de especialistas

A terceira fase de aplicação do método AHP consiste na elaboração e envio de um questionário contendo as comparações par a par para um painel de especialistas selecionados (SAATY; VARGAS, 2001). A escolha adequada do perfil e do número de entrevistados é relevante para garantir que as opiniões coletadas encontrem respaldo na experiência e no conhecimento dos profissionais (DARKO *et al.*, 2019; SAATY, 2008).

O método AHP não determina a necessidade de um número mínimo de participantes para entregar resultados significativos, havendo exemplos onde apenas um tomador de decisão foi consultado (SAATY; VARGAS, 2001). Ao revisar estudos que aplicaram o método AHP no setor hospitalar, Schmidt *et al.* (2015) identificaram que o número de participantes variou entre 1 e 1.300, com média 109 pessoas consultadas, sendo a maioria delas pacientes ou clientes dos estabelecimentos de saúde. Já para pesquisas organizacionais, o número de respondentes tende a ser menor, com pesquisas recentes reportando de um a cinco especialistas (AL-HARBI, 2001; GUO; KAPUCU, 2020; PETERSON, David L; SILSBEE; SCHMOLDT, 1994; SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010), de seis a dez (BANDA, 2019; BULUT *et al.*, 2012), quinze (LI *et al.*, 2020), e vinte (MÜHLBACHER; KACZYNSKI, 2016).

Para esta pesquisa, participaram do painel de especialistas 11 entrevistados no total, 6 pesquisadores com experiência acadêmica nos temas de EPIs, ecologia industrial, economia

circular aplicada (grupo A) e 5 profissionais atuantes no setor público, indústria e consultoria (grupo B) como forma de balancear as visões técnica e acadêmica sobre o tema abordado.

Abaixo, o Quadro 5 apresenta o perfil dos especialistas integrantes do grupo A, contendo a formação, filiação atual e linhas de pesquisa dos participantes. Já o Quadro 6 apresenta o perfil dos integrantes do grupo B, contendo a formação, atividades desempenhadas e setor de atuação.

Quadro 5 – Perfil dos especialistas do grupo A

	<i>Formação</i>	<i>Filiação</i>	<i>Linhas de pesquisa</i>
Especialista I	Graduação em Gestão da Produção Industrial; MBA em Gestão Ambiental Empresarial; Mestrado em Engenharia de Produção com ênfase em EC; Doutorado em andamento em Engenharia de Produção	Universidade de São Paulo - USP	Gestão de projetos e produtos em EC; Sustentabilidade empresarial; Estratégia organizacional sustentável
Especialista II	Graduação em Engenharia de Produção; Mestrado em Planejamento Energético com ênfase em EPI; Doutorado em andamento em Planejamento Energético	Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ	Pesquisa operacional; Planejamento de sistemas energéticos; Ecologia industrial
Especialista III	Graduação em Arquitetura; Mestrado em Engenharia de Produção com ênfase em impactos ambientais na construção civil; MBA em gestão de negócios; Doutorado em planejamento ambiental com ênfase em EPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - IFRJ	Ecologia industrial; Gestão de resíduos; Gestão ambiental pública e empresarial; Produção mais limpa
Especialista IV	Graduação em Administração; Mestrado em Administração com ênfase em ciências sociais; Doutorado em Administração com ênfase em EI e teoria de sistemas	Universidade Federal de Santa Maria - UFSM	Estratégia organizacional; Inovação e sustentabilidade na gestão pública; Desenvolvimento regional sustentável
Especialista V	Graduação em Ciências Econômicas; Especialização em Administração de Empresas; Mestrado em desenvolvimento regional com ênfase na produtividade de EPI; Doutorado em Desenvolvimento Sustentável com ênfase em EPIs	Universidade Federal do Amazonas - UFAM	Economia industrial; Ecologia industrial; Estudos setoriais
Especialista VI	Graduação em Administração; Especialização em Gestão Logística; Mestrado em Engenharia de Produção com ênfase em EPI; Doutorado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia em andamento	Universidade Federal do Amazonas - UFAM	Logística; Indústria 4.0; Desenvolvimento sustentável

Fonte: Autor.

Quadro 6 – Perfil dos especialistas integrantes do grupo B

	<i>Formação</i>	<i>Atividades desempenhadas</i>	<i>Setor</i>
Especialista VII	Graduação em Engenharia Florestal; MBA em Gestão Ambiental	Responsável pelo planejamento e gestão do desenvolvimento urbano e ambiental	Público
Especialista VIII	Graduação em Oceanografia Mestrado em andamento em Ciência e Tecnologia Ambiental	Responsável pela realização de estudos de impacto, de conformidade e licenciamento ambientais	Consultoria
Especialista IX	Graduação em Engenharia Ambiental Graduação em Ciências Biológicas MBA em Gestão Ambiental	Responsável pela realização de inspeções técnicas, fiscalização e controle de licenças ambientais, gerenciamento de indicadores ambientais e documentações de processos	Consultoria e Público
Especialista X	Graduação em Engenharia Ambiental Especialização em Gestão estratégica da Sustentabilidade	Responsável pela gestão de indicadores ambientais, gestão de resíduos, licenciamento ambiental e certificações	Consultoria, Indústria e Público
Especialista XI	Graduação em Engenharia Florestal Especialização em Gestão Ambiental Mestrado em Ciências biológicas com ênfase em botânica	Responsável pela elaboração de diretrizes de planejamento ambiental. Também é membro de conselhos deliberativos para questões de saneamento, recursos hídricos, gestão de resíduos e educação ambiental	Público

Fonte: Autor.

Conforme disposto em um dos axiomas, o método AHP converte a opinião subjetiva dos especialistas consultados em dados quantitativos, através do uso de uma escala consistente e limitada (VARGAS, 1990). Essa pesquisa utilizou a Escala Fundamental desenvolvida por Thomas L. Saaty, por esta já ter sido validada teoricamente e também por ser amplamente adotada em diversos estudos (GOLDEN; WASIL; HARKER, 1989). A Escala Fundamental de Saaty é apresentada abaixo pelo Quadro 7.

Quadro 7 – Escala fundamental de Saaty

Intensidade na escala de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderada importância de um sobre o outro	Experiência e opinião fortemente favorece uma atividade sobre a outra
5	Essencial ou forte importância	Experiência e opinião fortemente favorece uma atividade sobre a outra
7	Muito forte importância	Uma atividade é favorecida fortemente e sua dominância é demonstrada na prática
9	Extrema importância	A evidência que favorece uma atividade sobre a outra é a afirmação de maior ordem que pode ser feita
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre duas opiniões adjacentes	Quando um meio termo é necessário
Reciprocidade	Se a atividade i tiver um dos números acima atribuídos quando comparado à atividade j , então j terá o valor recíproco quando comparado com i	
Frações	Frações decorrentes da escala	Se consistência tiver de ser forçada para obtenção de n valores numéricos par a abrangência da matriz

Fonte: Adaptado de Saaty (1990, p. 15).

A Escala Fundamental busca medir o nível de preferência de um critério em relação ao longo das combinações pareadas, ou seja, se um especialista indicar que o Critério 1 (C1) é moderadamente mais importante que o Critério 2 (C2), este estará indicando que C1 é 3 vezes mais importante que C2, e por consequência e cumprimento de um axioma fundamental do método, também indicará que C2 é um terço mais importante que C1 (SAATY, 2008;

WEDLEY, 1990). Abaixo, Tabela 6 ilustra um exemplo de uma matriz de combinações par a par preenchida, também chamada de matriz de julgamentos.

Tabela 6 – Exemplo de matriz de comparações pareadas

	<i>Critério 1 (C1)</i>	<i>Critério 2 (C2)</i>	<i>Critério 3 (C3)</i>	<i>Critério n</i>
<i>Critério 1 (C1)</i>	1	3	1/5	1/2
<i>Critério 2 (C2)</i>	1/3	1	7	1
<i>Critério 3 (C3)</i>	5	1/7	1	1/9
<i>Critério n</i>	2	1	9	1

Fonte: Autor.

A próxima seção trata da análise dos dados obtidos através dos questionários preenchidos, e qual a fundamentação teórica dos procedimentos adotados durante essa etapa.

3.3.4. Análise de dados e classificação

A quarta etapa da pesquisa compreende a análise dos dados obtidos através da realização do painel de especialistas. Para cada critério, as matrizes individuais de cada entrevistado foram combinadas por meio da média geométrica dos valores contidos, onde todos os especialistas possuem a mesma influência.

Seja uma matriz A formada por i linhas e j colunas representa a matriz de julgamentos para n critérios e onde a_{ij} representam os valores reportados pelos especialistas através da Escala Fundamental. Nessa matriz i e j são números naturais e segundo o princípio da reciprocidade $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, e para a com $i = j$, o valor deve ser igual a 1.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2j} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i3} & \cdots & a_{ij} \end{pmatrix}$$

O primeiro passo da análise compreende o cálculo do vetor de prioridade $W = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_i \end{pmatrix}$ de cada critério e subcritério. Isso pode ser alcançado ao considerar W como um autovetor da matriz A e λ_{max} como seu principal autovalor, de forma a satisfazer a equação abaixo:

$$AW = \lambda_{max}W$$

O vetor W pode ser estimado através da normalização da matriz A , que é a matriz resultante da divisão de cada valor pela soma dos valores de sua respectiva coluna.

$$A' = \begin{pmatrix} \frac{a_{11}}{\sum_1^n a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum_1^n a_{i2}} & \frac{a_{13}}{\sum_1^n a_{i3}} & \dots & \frac{a_{1j}}{\sum_1^n a_{ij}} \\ \frac{a_{21}}{\sum_1^n a_{i1}} & \frac{a_{22}}{\sum_1^n a_{i2}} & \frac{a_{23}}{\sum_1^n a_{i3}} & \dots & \frac{a_{2j}}{\sum_1^n a_{ij}} \\ \frac{a_{31}}{\sum_1^n a_{i1}} & \frac{a_{32}}{\sum_1^n a_{i2}} & \frac{a_{33}}{\sum_1^n a_{i3}} & \dots & \frac{a_{3j}}{\sum_1^n a_{ij}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{i1}}{\sum_1^n a_{i1}} & \frac{a_{i2}}{\sum_1^n a_{i2}} & \frac{a_{i3}}{\sum_1^n a_{i3}} & \dots & \frac{a_{ij}}{\sum_1^n a_{ij}} \end{pmatrix}$$

Assim, o vetor de prioridade W que representa a média simples de cada uma das linhas da matriz A' . De forma concisa, cada componente do vetor W pode ser calculado através da equação abaixo:

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}}$$

É importante ressaltar que a soma dos componentes do autovetor W será sempre 1.

$$W = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_i \end{pmatrix}, w_1 + w_2 \dots + w_i = 1$$

Após o cálculo do autovetor W , é possível calcular os autovalores λ_k associados através da soma das colunas da matriz A' e multiplicação pelo autovetor W .

$$\lambda = A'W \quad | \quad \lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_k \end{pmatrix}$$

Dessa forma, o principal autovalor λ_{max} pode ser calculado através da média simples dos autovalores associados.

$$\lambda_{max} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}{n}$$

Como o método AHP permite a presença de respostas inconsistentes durante a sua aplicação, é necessário calcular para cada matriz o Indicador de Consistência (*Consistency Index* – CI), que nada mais é do que a variância de λ_{max} , ou seja:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

De posse do Indicador de Consistência (CI) é possível comparar esse número com o Indicador de Consistência Aleatória (*Random Index* – RI), que representa a taxa de consistência de uma matriz aleatória gerada computacionalmente. O valor de RI é dado para cada matriz quadrada de tamanho n através da Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Índice de Consistência Aleatória (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Golden, Wasil e Harker (1989, p. 32).

Por fim, é possível calcular a Razão de Consistência (*Consistency Ratio* - CR) pela divisão de CI por CR:

$$CR = \frac{CI}{CR}$$

Segundo Saaty, espera-se que o valor de CR seja menor que 0,10 (10%) para garantir que as decisões tomadas pelos entrevistados sejam coerentes, caso contrário, os julgamentos são considerados inaceitáveis e devem ser ajustados.

Quando todos os autovetores W forem calculados e estiverem dentro do patamar aceitável definido na literatura, é possível utilizá-los para estabelecer uma ordem de prioridades entre os critérios e subcritérios analisados, dessa forma criando um *ranking* de importância relativa. De posse dessa escala de importância dos critérios e subcritérios levantados, é possível modificar o *framework* para o desenvolvimento de ecoparques industriais levando em consideração quais são os elementos apontados como de maior relevância pelo painel de especialistas, ou seja, adaptar a ferramenta desenvolvida como forma de priorizar a execução de atividades tidas como prioritárias em um cenário de recursos finitos.

3.3.5. Teste de hipóteses

A etapa final da pesquisa consistiu na realização de testes de hipóteses como forma de verificar se a média de prioridade obtida em determinado critério pelo grupo A é igual à do grupo B dada uma probabilidade de significância (*p-valor*), ou seja, verificar se ambos os grupos possuem visões semelhantes quanto a importância relativa dos critérios.

Testes de hipóteses fazem parte da área de inferência estatística, e buscam determinar se dada afirmação sobre os parâmetros populacionais, como média (μ) e desvio padrão (θ), podem ser verificadas por meio de seus estimadores amostrais, média amostral (\bar{x}) e desvio padrão amostral (s) (MORETTIN; BUSSAB, 2010).

Para esta pesquisa, o seguinte par de hipóteses foi desenvolvido como forma de representar a afirmação acima descrita:

$$\begin{cases} \text{Hipótese } H_0 : \mu_a = \mu_b \\ \text{Hipótese } H_1 : \mu_a \neq \mu_b \end{cases}$$

Para cada critério é necessário realizar um teste de duas amostras independentes, cujos parâmetros populacionais são desconhecidos no presente momento.

O primeiro passo para a realização do teste de hipótese é garantir que os dados coletados provêm de uma distribuição normal. Para isso, o teste de Anderson-Darling pode ser realizado como forma de verificar a aderência dos valores registrados frente a uma distribuição normal. Para amostras menores que 30 indivíduos e assumindo a normalidade dos dados, é necessário utilizar a distribuição *t*, desenvolvida pelo estatístico inglês W.G. Gosset sob o pseudônimo “Student” (MORETTIN; BUSSAB, 2010).

Posteriormente, é necessário verificar também se as variâncias populacionais (θ_a^2 e θ_b^2) podem ser consideradas iguais. Nesse caso, os parâmetros amostrais s_a^2 e s_b^2 são utilizados para a realização de um teste F, que segue a distribuição de Fischer-Snedecor.

Realizados os testes preliminares, para o caso de comparação entre duas médias independentes, variâncias populacionais desconhecidas e iguais, o valor de *t* é dado por:

$$t = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{\sqrt{s_p^2 \left(\frac{1}{n_a} + \frac{1}{n_b} \right)}}, \text{ com } n_a + n_b - 2 \text{ graus de liberdade}$$

Onde o valor *t* é comparado com um valor tabelado de acordo com os graus de liberdade apresentados e o nível descritivo escolhido (*p-valor*). Para essa pesquisa o *p-valor* adotado foi

de 5%. Os valores \bar{x}_a e \bar{x}_b representam respectivamente as médias amostrais para os grupos A e B. Já os valores n_a e n_b representam o número de entrevistados para os respectivos grupos, 6 para o grupo A e 5 para o grupo B. Já a variância combinada (s_p^2) é dada pela fórmula:

$$s_p^2 = \frac{(n_a - 1)s_a^2 + (n_b - 1)s_b^2}{n_a + n_b - 2}$$

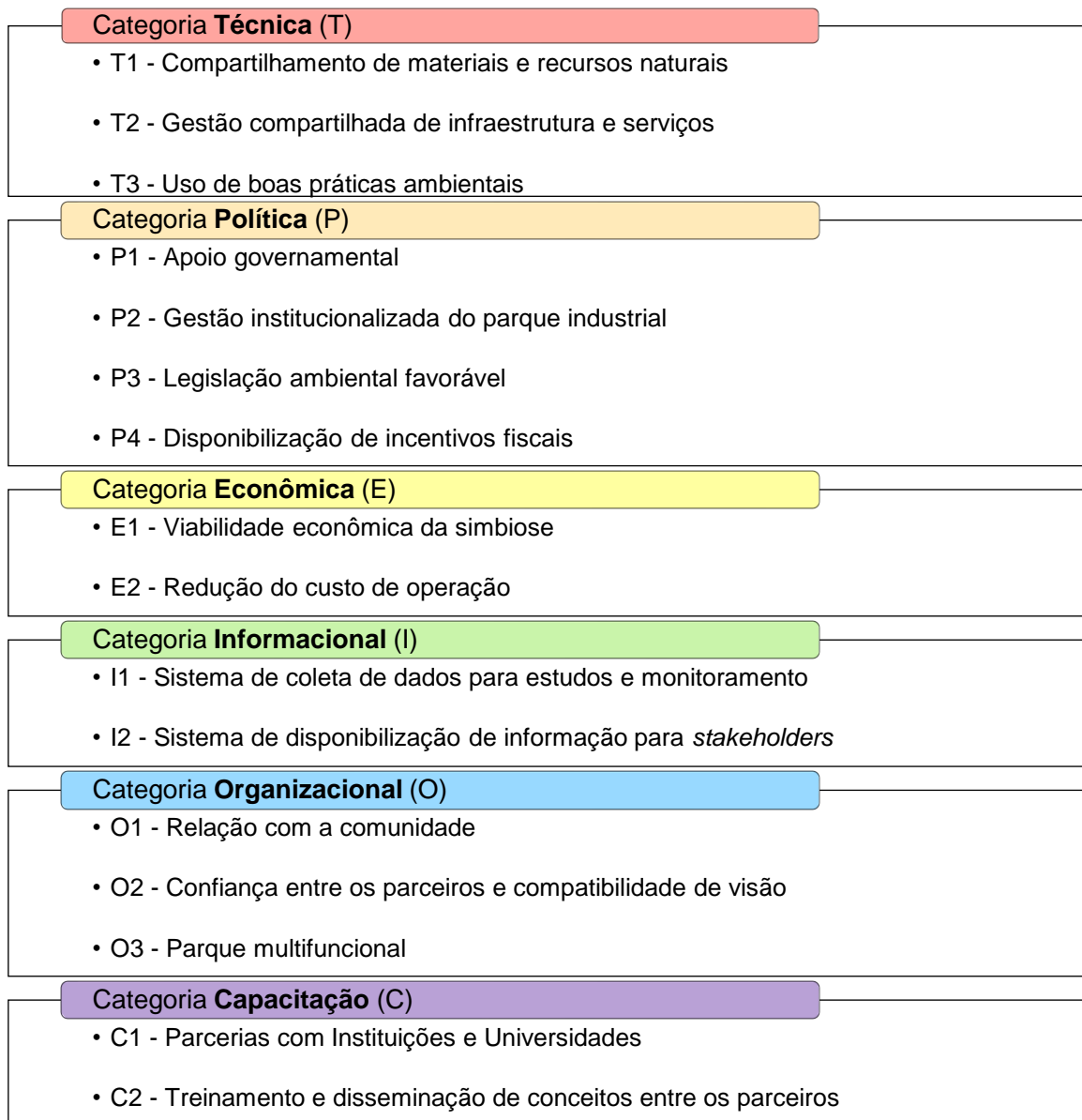
Para essa pesquisa, todos os testes estatísticos foram realizados por meio do *software* Minitab.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. PRÁTICAS PRESENTES EM ECOPARQUES INDUSTRIAIS

Através da leitura detalhada dos artigos selecionados, foi possível elencar quais são as principais práticas presentes em ecoparques industriais. Posteriormente, as atividades e características identificadas foram organizadas em categorias, segundo o *framework* desenvolvido por Mirata (2004) e apresentado anteriormente no Quadro 2. A seguir, a Figura 9 ilustra as principais práticas desenvolvidas em ecoparques industriais segundo a literatura consultada. O Apêndice A relaciona as práticas identificadas, suas respectivas categorias, e em quais estudos elas foram identificadas.

Figura 9 – Principais práticas desenvolvidas em ecoparques industriais



A seguir, cada uma das categorias e práticas identificadas são apresentadas em detalhes.

4.1.1. Categoria Técnica

Essa categoria inclui as principais atividades relacionadas a viabilidade técnica das relações de simbiose e suas principais características, bem como a existência de tecnológicas e práticas que facilitem sua implementação (MIRATA, 2004; PARK, Jooyoung; DUQUE-HERNÁNDEZ; DÍAZ-POSADA, 2018; YU, Fei; HAN; CUI, 2015).

4.1.1.1. *Compartilhamento de materiais e recursos naturais*

O compartilhamento de itens entre empresas colocalizadas é um dos pré-requisitos teóricos para a existência de um ecoparque industrial por configurar uma relação de simbiose industrial (CHERTOW, 2000). Esses fluxos podem assumir a forma de compartilhamentos de materiais que não mais fazem parte do processo produtivo da empresa e devem ser descartados adequadamente, como subprodutos e resíduos por exemplo, mas também podem representar os recursos coletados e/ou gerados em excesso que seriam subutilizados ou necessitariam de infraestrutura de armazenagem, como captação de água potável, geração de vapor e energia elétrica (BELLANTUONO; CARBONARA; PONTRANDOLFO, 2017; CHERTOW, 2008).

Apesar de sua importância instrumental para o funcionamento apropriado de EPIs, alguns desses empreendimentos têm dificuldades para estabelecer relações de simbiose industrial devido a necessidade de coordenar a demanda e disponibilidade dos itens trocados, bem como outros requisitos técnicos como especificações dos subprodutos e resíduos ofertados e a qualidade requerida para sua utilização em outros processos industriais (LOWE; MORAN; HOLMES, 1996; MIRATA, 2004).

Como forma de facilitar a captação de materiais recicláveis, El Massah (2018) propõe a criação de centros de coleta e triagem dentro dos EPIs para coordenar o recebimento e envio de materiais como papel, madeira e plástico provenientes de embalagens.

Yu, Yan e Assimakopoulos (2015) identificaram a prevalência de simbioses relativas a subprodutos e resíduos frente àquelas relativas a trocas de recursos naturais (água, vapor e energia). Isso porque para a implementação de uma simbiose de recursos naturais, geralmente é necessário alto investimento em infraestrutura (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Entretanto, com a obtenção de financiamento e posterior implementação, simbioses envolvendo recursos naturais tendem a render maior retorno sobre o investimento devido a sua relativa baixa manutenção e constância durante a captação ou geração, o que permite um uso contínuo

(GIBBS; DEUTZ, 2007; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016). Devido ao alto retorno financeiro, simbioses desse tipo podem se tornar um passo importante para o desenvolvimento de iniciativas eco-industriais, como pode ser observado em experiências norte da Itália (DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015), e no desenvolvimento da simbiose industrial de Kalundborg (BRANSON, 2016; EHRENFELD; GERTLER, 1997).

Dessa forma, Gibbs e Deutz (2007) e Park, Park e Park (2016) argumentam pela necessidade de implementação gradual das simbioses planejadas, focando inicialmente em casos de sucesso para aumentar a confiança dos inquilinos no desenvolvimento de um parque industrial mais sustentável.

4.1.1.2. *Gestão compartilhada de infraestrutura e serviços*

O compartilhamento de uma rede de infraestrutura e de serviços auxiliares a produção também é um elemento intrínseco dos ecoparques industriais, pois estes necessitam de uma infraestrutura comum que permita a realização de relações de simbiose, e que busque acomodar as diferentes necessidades de todos os inquilinos (LOWE; MORAN; HOLMES, 1996; PCSD, 1996; MASSARD; LEUENBERGER; DONG, 2018). Veleva et al. (2015) também afirmam que o acesso a canais de distribuição, como ferrovias e rodovias, é um fator determinante para que empresas se estabeleçam em um parque industrial, podendo então atrair novos inquilinos, de modo a aumentar a diversidade do EPI.

O emprego de tubulações que ligam diretamente as empresas participantes da simbiose permite a redução de custos de transporte, o que torna este tipo de relação bastante atraente para os gerentes (PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016). Em situações como a de Kalundborg, dutos possibilitam o envio de vapor a altas temperaturas para as residências locais, eliminando a necessidade de fornos a lenha que antes eram usados para aquecimento (BRANSON, 2016; EHRENFELD; GERTLER, 1997; JACOBSEN, 2008).

Serviços de apoio a manufatura como a gestão compartilhada de transporte, plano de integrado mobilidade para os funcionários, gestão conjunta de atividades de recursos humanos, incluindo treinamentos também auxiliam no estabelecimento de relações mais próximas entre os inquilinos, criando um ambiente favorável para o desenvolvimento de simbioses (DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2018).

4.1.1.3. *Uso de boas práticas ambientais*

A adoção de boas práticas ambientais pelas empresas colocalizadas no parque industrial indica seu comprometimento inicial com o meio ambiente, e também a possível predisposição para o desenvolvimento de sinergias, pois empresas com alto nível de maturidade ambiental visam estender suas práticas verdes para além das fronteiras da organização, especialmente dentro de sua rede de suprimentos (JABBOUR; JABBOUR, 2013; LEHTORANTA *et al.*, 2011).

Sendo assim, o estabelecimento de um sistema compartilhado de gestão ambiental formalizado com a certificação ISO 14001, e atividades como o reuso e a reciclagem de materiais e recursos, utilização de fontes renováveis de energia, bem como a escolha de processos produtivos e matérias-primas menos poluentes são fatores que auxiliam no desenvolvimento de possíveis relações de simbiose, e no alcance da meta de neutralidade de carbono estabelecida por algumas companhias (DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; GIBBS; DEUTZ, 2007; LIU *et al.*, 2018; MAES *et al.*, 2011).

Segundo Liu et al. (2018), a importância da adoção e disseminação de boas práticas ambientais é premiada anualmente no EPI chinês de TEDA, onde também há uma bonificação para empresas que obtêm a certificação ISO 14001.

4.1.2. *Categoria Política e Governamental*

Crítérios políticos e governamentais remetem ao papel crucial que líderes e legisladores têm para incentivar o desenvolvimento de EPIs através do financiamento de projetos de simbiose, proposição de novas leis para o aperfeiçoamento do código ambiental, parcerias para a gestão do empreendimento, e disponibilização de incentivos fiscais (MIRATA, 2004; YU, Fei; HAN; CUI, 2015).

4.1.2.1. *Apoio governamental*

O apoio governamental pode se manifestar através da criação e suporte de programas nacionais de promoção do desenvolvimento sustentável através da adoção de práticas da economia circular e ecologia industrial, resultando no fomento e implementação de EPIs (BAI *et al.*, 2014; PARK, Hung-Suck *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2010).

Outra forma de envolvimento governamental é através do financiamento da infraestrutura necessária para a operacionalização de relações de simbioses nos ecoparques industriais (PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016). Na Coreia do Sul, a participação de agências governamentais permitiu reduzir o risco durante a realização dos investimentos necessários para a concretização

de simbioses mais rentáveis, porém que possuíam um custo de implementação significativamente maior (BEHERA *et al.*, 2012).

O Estado também pode atuar de forma direta na administração do parque industrial e na gestão de empresas públicas ou de capital misto, como é o caso do EPI formado pelas atividades industriais do *Guitang Group* na China (SHI, Lin; CHERTOW, 2017; ZHU *et al.*, 2008).

4.1.2.2. *Gestão institucionalizada do parque industrial*

A gestão formalizada do EPI permite que os inquilinos passem a tomar decisões e elaborar projetos em conjunto mais facilmente, formalizar parcerias com universidade e organizações internacionais, realizar ampla auditoria dos indicadores de performance ambiental das empresas participantes, obtenção de economias de escala ao prover serviços compartilhados aos inquilinos (BEHERA *et al.*, 2012; BELLANTUONO; CARBONARA; PONTRANDOLFO, 2017; LIU *et al.*, 2018).

4.1.2.3. *Legislação ambiental favorável*

O projeto de desenvolvimento de um EPI pode ser colocado em risco caso a legislação ambiental vigente seja muito restritiva quanto a forma de destinação de resíduos industriais, pois, em alguns casos, as atividades de simbiose contrariam as leis locais para determinados tipos de materiais.

Ao retratar a simbiose em Kalundborg, Ehrenfeld e Gertler (1997, p. 75) afirmam que “o processo regulatório dinamarquês encorajou a evolução da simbiose industrial” no parque, devido a sua flexibilidade, ao permitir que as próprias organizações estabeleçam soluções viáveis para o descarte adequado de subprodutos e resíduos.

Similarmente, Baas (1998) argumenta durante a implantação do programa de estímulo a práticas de produção mais limpa em ecossistemas industriais nos Países Baixos, foi necessário realizar uma mudança de paradigma na legislação ambiental neerlandesa, passando a permitir acordos voluntários entre organizações.

De modo oposto, Gibbs e Deutz (2007) apontam a rigidez na legislação americana como um entrave significativo para o desenvolvimento de simbioses nos Estados Unidos, já que pela Lei de Conservação e Recuperação de Recursos de 1976, o descarte de uma grande quantidade de materiais é regulado em detalhes, o que acaba inibindo o surgimento de alternativas inovadoras, como é o caso da simbiose industrial.

4.1.2.4. Disponibilização de incentivos fiscais

Outro aspecto importante da atuação governamental é a regulação e disponibilização de incentivos fiscais que vise estimular atividades de reciclagem e reuso no contexto industrial (LEHTORANTA *et al.*, 2011).

A presença de incentivos fiscais pode ter grande impacto sobre a viabilidade de sobre um projeto de simbiose industrial, ou até mesmo sobre um EPI por completo, por isso alguns autores afirmam que a aplicação demasiada de subsídios atua como uma distorção do livre mercado, ao viabilizar projetos não rentáveis, atrelando a existência do EPI a forte presença estatal (GIBBS; DEUTZ, 2005, 2007).

4.1.3. Categoria Econômica

A sustentabilidade econômica de projetos de simbiose, e por consequência de ecoparques industriais, é considerada fundamental para seu êxito no longo prazo. Aspectos como a possibilidade de redução de custos operacionais ou de geração de receitas adicionais tornam a decisão de participar de um EPI mais vantajosa para os gestores (MIRATA, 2004; PARK, Jooyoung; DUQUE-HERNÁNDEZ; DÍAZ-POSADA, 2018).

4.1.3.1. Viabilidade econômica da simbiose

Um dos principais atrativos para a implementação de relações de simbiose industrial é a possibilidade de obtenção de lucros através da disponibilização de subprodutos, resíduos e recursos a outras empresas (CHERTOW; EHRENFELD, 2012; DEUTZ; GIBBS, 2004). Para isso, as companhias participantes e gestores dos parques industriais realizam estudos de viabilidade baseados nos materiais e recursos disponíveis, nos impactos ambientais gerados pelo projeto, quais serão os custos de implementação e os potenciais ganhos (BELAUD, Jean-Pierre *et al.*, 2019).

Após a realização de estudos conduzidos por um consórcio formado por entidades governamentais, especialistas em ecologia industrial e gestores de empresas, diversos projetos foram apresentados para implementação nos parques de Onsan e Mipo na Coreia do Sul (PARK, Hung-Suck *et al.*, 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016). Apenas projetos economicamente viáveis foram sugeridos, e aqueles estratégicos ou que proviam maior retorno sobre o investimento foram adotados, com custo total US\$64,93 milhões, porém gerando um retorno esperado de US\$68,52 milhões (BEHERA *et al.*, 2012).

Os pesquisadores Lowe e Evans (1995) estimaram que as empresas parceiras na simbiose de Kalundborg investiram cerca de US\$ 60 milhões nos projetos de simbiose industrial, obtendo um retorno anual médio de US\$ 12 milhões, com um tempo de *payback* de 5 anos. Como este parque se desenvolveu ao longo de algumas décadas, os pesquisadores afirmam que até o início dos anos 1990, o lucro acumulado obtido através das atividades de simbiose é estimado em US\$ 120 milhões.

4.1.3.2. *Redução do custo de operação*

As relações de simbiose industrial praticadas nos EPIs permitem custos operacionais menores devido a redução nos custos de transação para a compra de matéria-prima virgem, obtenção de economias de escala durante a disponibilização coletiva de serviços de auxílio a manufatura, diminuição do uso, e conseqüentemente no valor pago por recursos naturais e energia elétrica, assim como aumenta o *compliance* com a legislação ambiental vigente, tornando a empresa menos sujeita a multas e penalizações (CÔTÉ, 2003; NOTARNICOLA; TASSIELLI; RENZULLI, 2016; PARK, Jooyoung; DUQUE-HERNÁNDEZ; DÍAZ-POSADA, 2018).

Durante o processo de implementação do conceito de ecologia industrial e identificação de relações de simbiose industrial na zona de desenvolvimento na Tianjin (TEDA), um dos maiores parques industriais da China, um valor superior a US\$1.250.000,00 foi economizado entre as empresas participantes durante a primeira fase de execução do projeto (YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014).

4.1.4. Categoria Informacional

A categoria informacional dispõe sobre as ferramentas e técnicas que tornam possível a coleta e disponibilização de informações nos ecoparques industriais (MIRATA, 2004; PARK, Jooyoung; DUQUE-HERNÁNDEZ; DÍAZ-POSADA, 2018; YU, Fei; HAN; CUI, 2015).

4.1.4.1. *Sistema de coleta de dados para estudos e monitoramento*

No contexto de EPIs, a coleta de informações das empresas é necessária para a realização de estudos de viabilidade de potenciais simbioses e para o monitoramento conjunto de indicadores e performance ambiental (BEHERA *et al.*, 2012; BELAUD, Jean-Pierre *et al.*, 2019).

Para a realização de estudos de viabilidade, informações pertinentes aos tipos de materiais utilizados (quantidades, especificações, frequência) durante o processo produtivo, bem como quais são os subprodutos e resíduos gerados e suas respectivas características, como forma de

encontrar outras empresas com fluxos compatíveis (BEHERA *et al.*, 2012; CHERTOW, 2008; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019).

O Departamento de Proteção de Ambiental dos Estados Unidos desenvolveu três softwares que auxiliam na coleta dessas informações (CHERTOW, 2000). O FaST (*Facility Sinergy Tool – Ferramenta de Sinergia para Instalações*) possui uma base de dados que contém as principais matérias-primas, subprodutos e resíduos para diferentes tipos de indústria. Já o DIET (*Designing Industrial Ecosystems – Ferramenta para o Projeto de Ecossistemas Industriais*) elabora e avalia diferentes simulações derivada de combinações distintas de empresas. Por fim, o REaLiTy (*Regulatory, Economic, and Logistics Tool – Ferramenta Regulatória, Econômica e Logística*) auxilia com as possíveis barreiras regulatórias.

O monitoramento conjunto de indicadores auxilia no acompanhamento da implementação de projetos de simbiose e a performance ambiental dos inquilinos, possibilitando identificar problemas preventivamente e também validar a efetividade das ações tomadas (BOONS *et al.*, 2017).

4.1.4.2. Disponibilização de informação para stakeholders

Para se tornar efetiva, a informação precisa ser disponibilizada para os principais stakeholders do projeto, nesse caso, as empresas participantes, órgãos governamentais, comunidade, instituições de pesquisa, entre outros.

Dentro dos EPIs, a informação pode ser disseminada através da realização de seminários entre os gerentes e sessões de treinamento (BEHERA *et al.*, 2012; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016). Já para a comunidade, métodos mais proativos como a elaboração de uma página na internet, vídeos explicativos e distribuição de folhetos podem ser adotadas (BELAUD, Jean-Pierre *et al.*, 2019; BELAUD, Jean Pierre *et al.*, 2017).

Entidades governamentais e instituições de pesquisa recebem informações através de sua participação direta no processo de desenvolvimento e gestão dos EPIs, onde podem colaborar na gestão institucionalizada do empreendimento, ou na assessoria técnica para assuntos relacionados a simbiose industrial.

4.1.5. Categoria Organizacional

Os critérios organizacionais dizem respeito ao nível de confiança e natureza do relacionamento entre os parceiros da simbiose industrial, pela presença de um alinhamento de visão e conceitos, por vezes chamado de “curta distância mental” e história empresarial (MIRATA, 2004; PARK, Jooyoung; DUQUE-HERNÁNDEZ; DÍAZ-POSADA, 2018).

4.1.5.1. *Relacionamento com a comunidade*

A manutenção de um bom relacionamento com a comunidade do entorno de um EPI é considerada um elemento determinante para o sucesso desse tipo de empreendimento, especialmente em locais com histórico de experiências negativas quanto a implantação de indústrias e suas atividades (BELAUD, Jean-Pierre *et al.*, 2019; MANNINO *et al.*, 2015).

O consórcio de administração de um novo EPI na região de Toulouse, no sul da França, enfrentou inicialmente forte oposição dos moradores locais devido a uma explosão em uma fábrica de fertilizantes em 2001 que deixou 31 mortos, milhares de pessoas feridas e dezena de milhares de casas danificadas (BELAUD, Jean-Pierre *et al.*, 2019; DUNGELHOFF; MOORE, 2015). Como forma de melhorar o relacionamento com a comunidade local, os administradores do novo EPI convidaram líderes locais para participar do processo de seleção das empresas que comporão o parque, como forma de garantir que os interesses dos moradores também sejam atendidos (BELAUD, Jean Pierre *et al.*, 2017). Os administradores também estabeleceram uma página na Internet (<https://www.portesdutarn.fr/>) contendo informações sobre o empreendimento, e bem como o envio de um folheto semestral para os moradores próximos detalhando o processo de desenvolvimento do EPI (BELAUD, Jean-Pierre *et al.*, 2019).

A falta de apoio da comunidade pode desencorajar companhias a se estabelecerem em determinados parques industriais, como forma de preservar sua imagem frente aos consumidores, evitando desgastes (MANNINO *et al.*, 2015). Após uma enchente que ocupou cerca de 75% das construções em Veneza em 1966, a opinião pública se voltou contra ações que reduziram a capacidade de reposta da lagoa local a alta das marés, o que incluiu as obras de expansão do parque industrial petroquímico de Porto Marghera, a qual aumentou a quantidade de sedimentos no local (MANNINO *et al.*, 2015; POPHAM, 2006; TRINCARDI *et al.*, 2016). Aliado a outros fatores econômicos, o parque entrou em declínio nas décadas seguintes, culminando em um referendo em 2005, onde a população decidiu por encerrar a cadeia produtiva de cloro no local (MANNINO *et al.*, 2015).

4.1.5.2. *Confiança entre os parceiros e compatibilidade de visão*

A capacidade de confiar nos parceiros de negócio e distribuir os riscos de projetos é essencial para relações interorganizacionais (HUANG; WILKINSON, 2013). Entretanto para Blois (1999), a confiança não pode ser manufaturada, mas sim demonstrada através de ações e gestos, ou seja, seu crescimento se dá de forma orgânica e gradual. Dessa forma, administradores de EPIs organizam seminários com gerentes das empresas inquilinas para a realização de *networking*, exposição de casos de sucesso, e disseminação de conceitos chaves para o entendimento das relações de simbiose industrial (BOONS *et al.*, 2017; DEUTZ; GIBBS, 2004; PARK, Hung-Suck *et al.*, 2008).

Através do crescimento da confiança entre os parceiros, também seria desenvolvido um senso de visão comum entre os inquilinos, por vezes chamado de “curta distância mental”, indicando um alinhamento estratégico em torno de uma questão (BRANSON, 2016; EHRENFELD; GERTLER, 1997).

4.1.5.3. *Multifuncionalidade do parque*

Parques industriais multifuncionais, também chamados de empreendimento de uso misto, são aqueles em que atividades industriais dividem espaço com instalações comerciais e residenciais, como forma de promover o bem-estar dos trabalhadores e também aproximar a comunidade próxima (OH; KIM; JEONG, 2005; POTTS CARR, 1998).

No EPI francês *Les Portes du Tarn*, em Toulouse, cerca de 20% da área do empreendimento é destinada a atividades comerciais ou de lazer, e outros 15% para o estabelecimento de hortas comunitárias, entre outras atividades educacionais (BELAUD, Jean-Pierre *et al.*, 2019). Já o projeto de transição de um parque industrial comum em EPI, na cidade de Sablons, cerca de 60km de Lyon, inclui um espaço público para a realização de eventos locais, além de lojas, bares e restaurantes abertos para a comunidade (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Já o maior EPI chinês, localizado em Tianjin (TEDA), possui tanto instalações industriais quanto residenciais utilizadas por funcionários, já que empresas com no mínimo 400 empregados devem prover acomodação e refeições aos trabalhadores (LIU *et al.*, 2018; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010).

4.1.6. *Categoria Capacitação e Educação*

Originalmente, as atividades relacionadas a capacitação e educação dos conceitos de simbiose e ecologia industrial não foram incluídos no framework desenvolvido por Mirata (2004). Os

pesquisadores Park, Duque-Hernández e Diaz-Posada (2018) incluíram esses aspectos na categoria organizacional, ao realizar um estudo de caso sobre iniciativas de simbiose industrial na Colômbia. Entretanto, acredita-se que as atividades observadas são suficientemente distintas, formando então uma categoria própria.

4.1.6.1. *Parcerias com Instituições e Universidades*

Parcerias com institutos de pesquisa e universidades permitem a disseminação de técnicas mais avançadas de produção e gestão, através da transferência de conhecimento, bem como oferecem fontes alternativas para o financiamento de projetos de simbiose industrial (BEHERA *et al.*, 2012; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) possuem diversas parcerias que visam incentivar a adoção da economia circular e conceitos de ecologia industrial, sobretudo em países em desenvolvimento (LUKEN *et al.*, 2016; UNIDO, 2017). Ambas as agências colaboraram de forma intensa com as autoridades chinesas desde 1995 para a instalação de um amplo programa de difusão de práticas de produção mais limpa, culminando na criação de 15 EPIs e mais 49 em processo de desenvolvimento (BAI *et al.*, 2014; LUKEN *et al.*, 2016).

4.1.6.2. *Treinamento e disseminação de conceitos*

Apesar dos benefícios trazidos pelo emprego de relações de simbiose industrial, esse conceito ainda não é amplamente divulgado e explorado no meio empresarial, e sendo assim, durante o processo de desenvolvimento de novos EPIs ou conversão de parques tradicionais em ecoparques é necessário realizar seminários para a disseminação dos principais conceitos de ecologia e simbiose industriais (AFSHARI; FAREL; PENG, 2018).

Esses seminários geralmente são realizados em conjunto com diferentes empresas como uma forma de obter economias de escala, e também oferecer oportunidades para a realização de *networking* entre os gerentes industriais das organizações (BEHERA *et al.*, 2012; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016).

4.1.7. *Framework* para o desenvolvimento de EPIs

A partir das práticas identificadas por meio da revisão estruturada da literatura pertinente e apresentadas anteriormente, foi possível elaborar uma representação visual dos conceitos discutidos a fim de facilitar seu entendimento. Esse *framework* para o desenvolvimento de ecoparques industriais é ilustrado abaixo pela Figura 10.

Figura 10 – *Framework* para o desenvolvimento de ecoparques industriais

Fonte: Autor.

As atividades levantadas e contidas no *framework* elaborado são similares em escopo com aquelas observadas por Bellantuono, Carbonara e Pontrandolfo (2017) em seu estudo sobre as práticas sustentáveis presentes em ecoparques industriais com o objetivo de identificar possíveis *clusters* entre os EPIs analisados, no qual os pesquisadores identificaram 21 variáveis, entre atividades e características, organizadas em duas dimensões distintas, organizacional e sustentabilidade.

O *framework* proposto também está alinhando com os principais fatores motivadores (*drivers*) para a adoção de práticas e princípios da EC sob a perspectiva da gestão sustentável da rede de suprimentos identificados por Govindan e Hasanagic (2018). Por meio de uma revisão extensa da literatura, os autores identificaram 13 *drivers* e 34 práticas, variando de aspectos políticos, econômicos e técnicos, até mudanças sociais e de comportamento dos consumidores, as quais estimulam discussões de novas políticas públicas pelo poder público.

Já o trabalho desenvolvido por Pilouk e Koottatep (2017) tomou por base a legislação ambiental tailandesa para a identificação de 43 indicadores de desempenho para empreendimentos eco-

industriais. Por essa razão, os indicadores avaliados possuem um majoritariamente técnico, como taxa de reciclagem de resíduos, número de acidentes ambientais graves, nível da qualidade de água residual em comparação com o lençol freático. Entretanto, alguns indicadores também buscam quantificar aspectos políticos e organizacionais relacionados no framework proposto, como o nível de conformidade da instalação industrial com os requisitos de planejamento urbano (P3 – Legislação ambiental favorável) e de o nível de satisfação da comunidade próxima ao empreendimento (O1 – Relacionamento com a comunidade).

Na próxima etapa da pesquisa, o framework proposto foi modificado por meio das contribuições dadas pelo painel de especialistas, e cujo resultado é apresentado a seguir.

4.2. PAINEL DE ESPECIALISTAS

A etapa seguinte da pesquisa utilizou um painel de especialistas para coletar *feedback* de acadêmicos e profissionais da indústria acerca da importância das diferentes categorias e práticas levantadas anteriormente, e com isso modificar o *framework* inicialmente proposto. O método AHP foi utilizado para quantificar as opiniões qualitativas dos entrevistados.

4.2.1. Hierarquia e matriz de julgamentos

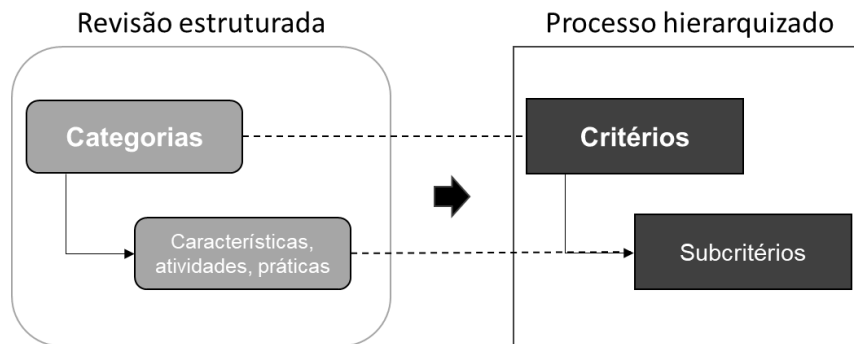
Após a definição do *gap* de pesquisa e dos critérios e subcritérios de avaliação, a fase seguinte de implementação do método AHP é a de hierarquização dos critérios. A partir do levantamento das práticas adotadas em ecoparques industriais, foi possível elaborar uma hierarquia do processo de decisão.

Como ilustrado anteriormente, a hierarquia do processo decisório utilizada no método AHP é composta de um objetivo, critérios e subcritérios e alternativas que englobam cursos de ação a serem seguidos.

Para esta pesquisa, o objetivo escolhido para encabeçar o processo de tomada de decisão é o de facilitar o desenvolvimento de ecoparques industriais, estando dessa forma alinhado à questão de pesquisa selecionada e com os objetivos de pesquisa originalmente propostos.

Em seguida, as características e atividades praticadas em EPIs juntamente com suas respectivas categorias foram respectivamente selecionadas como subcritérios e critérios na hierarquia proposta. Como a finalidade deste trabalho é levantar e classificar os fatores ligados ao desenvolvimento de EPIs, o levantamento de alternativas não se aplica. A Figura 11 ilustra esse procedimento.

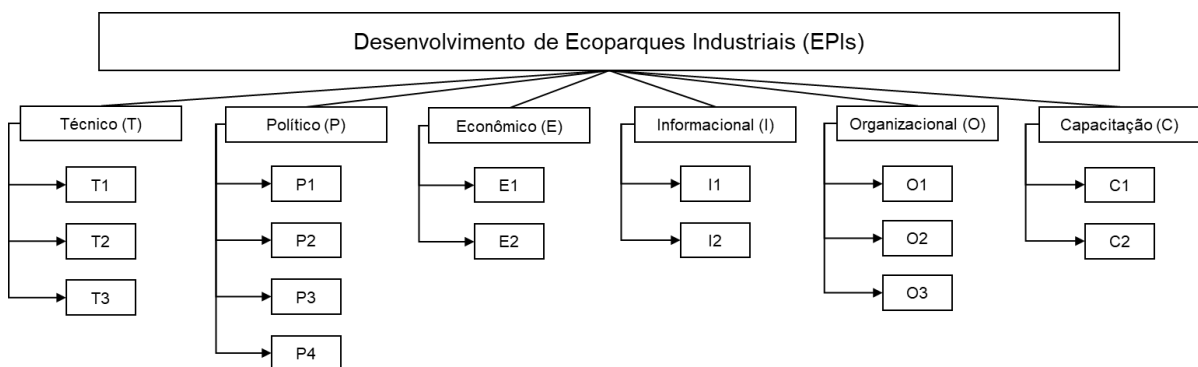
Figura 11 – Procedimento equivalência durante a hierarquização do problema



Fonte: Autor.

Utilizando o procedimento descrito acima, a Figura 12 ilustra a hierarquia do processo hierárquico analítico que foi adotada para esta pesquisa.

Figura 12 – Hierarquia do processo hierárquico analítico



Fonte: Autor.

Por meio da elaboração da hierarquia do processo analítico hierárquico, foi possível construir também as matrizes de julgamentos utilizadas para colher o *feedback* dos especialistas. O Apêndice B traz as matrizes de julgamentos para os critérios e subcritérios que foram enviadas aos entrevistados durante a etapa de coleta de dados.

4.2.2. Prioridades dos critérios e subcritérios

Após o término da etapa de coleta de dados, todos os especialistas consultados retornaram questionários válidos, ou seja, cujas matrizes de julgamentos apresentavam um índice de inconsistência menor que 10%. O agrupamento dos valores individuais foi realizado por meio do método AIJ e é apresentado pelo Apêndice B, enquanto que os vetores de prioridade foram calculados através do *software Super Decisions*. A Tabela 8 apresenta os valores de prioridade calculados com base nas matrizes de decisões agrupadas.

Tabela 8 – Prioridades dos critérios e subcritérios

Critério	Subcritério	Prioridade	
Econômico (E)	E1 - Viabilidade econômica da simbiose	21,84%	64,39%
	E2 - Redução do custo de operação		35,61%
Organizacional (O)	O2 - Confiança entre os parceiros e compatibilidade de visão	21,53%	55,72%
	O1 - Relacionamento com a comunidade		25,90%
	O3 - Multifuncionalidade do parque industrial		18,38%
Técnico (T)	T1 - Compartilhamento de materiais e recursos naturais	19,54%	40,74%
	T2 - Gestão compartilhada de infraestrutura e serviços		31,04%
	T3 - Uso de boas práticas ambientais		28,23%
Político (P)	P2 - Gestão institucionalizada	15,41%	30,53%
	P4 - Disponibilização de incentivos fiscais		25,43%
	P3 - Legislação ambiental favorável		22,92%
	P1 - Apoio governamental		21,12%
Capacitação (C)	C1 - Parcerias com Instituições e Universidades	12,10%	50,00%
	C2 - Treinamento e disseminação de conceitos		50,00%
Informacional (I)	I1 - Estabelecimento de um sistema de coleta de dados	9,58%	50,76%
	I2 - Disponibilização da informação		49,24%

Fonte: Autor.

Como visto na Tabela 8, o critério Econômico foi apontado como o de maior importância para o desenvolvimento de ecoparques industriais pelos especialistas consultados, com uma prioridade de 21,84%, seguido dos critérios Organizacional (21,53%) e Técnico (19,54%). Esses critérios apresentam uma importância relativa acima da média que seria obtida caso todos os 6 critérios tivessem o mesmo nível de prioridade ($100\%/6 = 16,67\%$).

Em contrapartida, o critério Informacional foi apontado pelos entrevistados como o menos relevante para o desenvolvimento de ecoparques industriais (9,58%), seguido dos critérios Capacitação (12,10%) e Político (15,41%), sendo que todos apresentam uma importância relativa abaixo da média teórica (16,67%).

A maior importância relativa atribuída ao critério Econômico reflete a necessidade de que projetos aplicados de simbiose industrial ofereçam ganhos financeiros às organizações envolvidas. Esse resultado corrobora o conceito de desenvolvimento sustentável apresentado anteriormente, o qual incorpora a existência de um tripé da sustentabilidade, onde as questões ambientais, econômicas e sociais são inseparáveis e necessitam de soluções conjuntas (ELKINGTON, 2013; SLAPER; HALL, 2011).

Dentro do critério Econômico, o subcritério E1 – Viabilidade econômica da simbiose apresenta uma importância relativa de 64,39% em comparação com o subcritério E2 – Redução de custos de operação (35,61%). Apesar de aparentemente complementares, o subcritério E1 possui um

escopo mais abrangente que E2, pois para a implementação de um projeto aplicado de simbiose industrial muitas vezes é necessária a construção de novas instalações de infraestrutura, como redes de transmissão elétrica, tubulações e dutos, treinamento de funcionários, modificações que interromperão momentaneamente o processo produtivo. Nesses casos, apenas a redução no custo de operações pode não ser suficiente para recuperar o valor investido inicialmente, fazendo com que o projeto não seja economicamente viável, ou então possua um tempo de *payback* muito longo.

Esse resultado também pode estar relacionado com o aparente insucesso da primeira onda de iniciativas eco-industriais nos Estados Unidos como relatado por Chertow (2007), já que os projetos originais apresentavam viabilidade econômica reduzida e baseada na manutenção de incentivos fiscais de longo prazo.

Além disso, a maior importância do critério Econômico coincide com os principais *drivers* que facilitam a implementação de práticas de EC no nível intraorganizacional, de acordo com o estudo realizado por Agyemang et al. (2019) no contexto da indústria automobilística paquistanesa. Nesse trabalho, os autores realizaram uma *survey* com 112 profissionais de diferentes empresas acerca dos fatores que promovem e/ou inibem a adoção de práticas de EC. Como resultado, os dois componentes mais citados pelos entrevistados foram os retornos financeiros trazidos pelo aumento de lucros e fatia de mercado (30%) e pela redução nos custos de operações (22%).

Já para o critério Organizacional, o item O2 – Confiança entre os parceiros e compatibilidade de visão obteve pouco mais da metade (55,72%) da prioridade relativa quando comparada com os dois subcritérios no mesmo conjunto, O1 – Relacionamento com a comunidade (25,90%) e O3 – Multifuncionalidade do parque industrial (18,38%). Esse resultado reforça a importância do alinhamento entre as empresas participantes da relação de simbiose industrial, originalmente observada em Kalundborg e descrita como “curta distância mental” como elemento gerador de confiança e de aumento na performance ambiental dos múltiplos *stakeholders* envolvidos (BRANSON, 2016; EHRENFELD; GERTLER, 1997).

Os subcritérios contidos no critério Técnico apresentaram relativa baixa dispersão ao redor da média, sendo o item T1 – Compartilhamento de materiais e recursos naturais o mais relevante segundo os especialistas consultados (40,74%), seguido de T2 - Gestão compartilhada de infraestrutura e serviços (31,04%) e T3 - Uso de boas práticas ambientais (28,23%). Isto ocorre porque esse critério reúne os principais elementos contidos na definição clássica de um

ecoparque industrial apresentada por Chertow (2000) e característicos de uma relação de simbiose industrial.

Já o critério Político remete ao papel que líderes e legisladores têm para incentivar o desenvolvimento de EPIs. Nesse âmbito, os resultados apontam que o elemento P2 – Gestão institucionalizada do ecoparque industrial é o item mais relevante nesse conjunto com uma prioridade de 30,53%, porém os demais subcritérios se distribuem uniformemente próximos a média do conjunto, com P4 – Disponibilização de incentivos fiscais obtendo 25,43% da prioridade, P3 – Legislação ambiental favorável com 22,92% e P1 – Apoio governamental com 21,12%.

Os resultados obtidos para o critério Político contrastam com os de diferentes estudos presentes na literatura. A ausência de regulamentações ambientais adequadas é citada como a principal barreira para a adoção de iniciativas sustentáveis de produção e consumo na rede de suprimentos no contexto de organizações de manufatura na Índia, segundo o estudo conduzido por Luthra et al. (2016). Já Shibin et al. (2016) apontam a falta de apoio governamental como o maior obstáculo para a implementação de práticas ligadas a gestão flexível verde da rede de suprimento.

Ainda, a redução no ritmo de desenvolvimento e consequente estagnação do projeto RIOECOPOLO após a retirada do apoio formal do Governo do Estado do Rio de Janeiro apesar de mantidos os incentivos fiscais aponta para que a importância do critério Político e das práticas e características que formam os subcritérios nesse conjunto pode variar de acordo com a natureza do projeto, o contexto do desenvolvimento e agente iniciador do EPI (ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009).

Segundo os entrevistados, os critérios Capacitação e Informacional são os de menor importância para o desenvolvimento de ecoparques industriais. Em ambos os conjuntos, a importância foi dividida de forma praticamente igual entre os subcritérios, com C1 - Parcerias com Instituições e Universidades e C2 - Treinamento e disseminação de conceitos obtendo 50% da preferência dos especialistas, enquanto que I1 - Estabelecimento de um sistema de coleta de dados obteve uma margem ligeiramente maior (50,76%) sobre I2 - Disponibilização da informação (49,24%). Esses resultados indicam que os subcritérios apresentam igualdade relativa quanto à importância no desenvolvimento de EPIs, sem que nenhum seja favorecido dentro de seus respectivos critérios de avaliação.

Entretanto, a baixa importância relativa recebida pelo critério Capacitação contrasta com resultados de estudos recentes. A falta de qualificação adequada para gestores e funcionários é apontada como uma barreira significativa para a adoção da gestão verde da rede de suprimentos (LUTHRA *et al.*, 2016; SHIBIN *et al.*, 2016) e práticas da EC em organizações (AGYEMANG *et al.*, 2019).

Por meio do *feedback* dos especialistas consultados, foi possível alterar o *framework* inicialmente proposto como forma de refletir as importâncias relativas entre os critérios e subcritérios. Abaixo, a Figura 13 apresenta o *framework* para o desenvolvimento de ecoparques industriais modificado.

Figura 13 – *Framework* modificado para o desenvolvimento de ecoparques industriais



Fonte: Autor.

Ao multiplicar a prioridade de cada subcritério pela importância relativa de seu critério é possível elaborar uma classificação geral de prioridade para os subcritérios identificados, a qual é apresentada abaixo pela Tabela 9.

Tabela 9 – Classificação geral de prioridade para os subcritérios identificados

Critério	Subcritério	Prioridade	
Econômico	E1 Viabilidade econômica da simbiose	1 ^a	14,06%
Organizacional	O2 Confiança entre os parceiros e compatibilidade de visão	2 ^a	12,00%
Técnico	T1 Compartilhamento de materiais e recursos naturais	3 ^a	7,96%
Econômico	E2 Redução do custo de operação	4 ^a	7,78%
Técnico	T2 Gestão compartilhada de infraestrutura e serviços	5 ^a	6,07%
Capacitação	C1 Parcerias com Instituições e Universidades	6 ^a	6,05%
Capacitação	C2 Treinamento e disseminação de conceitos	7 ^a	6,05%
Organizacional	O1 Relacionamento com a comunidade	8 ^a	5,58%
Técnico	T3 Uso de práticas de produção mais limpa	9 ^a	5,52%
Informacional	I1 Estabelecimento de um sistema de coleta de dados	10 ^a	4,86%
Informacional	I2 Disponibilização da informação	11 ^a	4,71%
Político	P2 Gestão institucionalizada	12 ^a	4,70%
Organizacional	O3 Multifuncionalidade do parque industrial	13 ^a	3,96%
Político	P4 Disponibilização de incentivos fiscais	14 ^a	3,92%
Político	P3 Legislação ambiental favorável	15 ^a	3,53%
Político	P1 Apoio governamental	16 ^a	3,25%

Fonte: Autor.

Pode-se observar que apenas os 4 primeiros subcritérios (E1, O2, T1 e E2) apresentam prioridade maior que a média teórica que seria obtida caso todos os elementos possuíssem a mesma importância relativa ($100\%/16 = 6,25\%$). Desse modo, pode-se supor que esses itens configuram aspectos fundamentais para a formação de um EPI ou desenvolvimento de uma iniciativa eco-industrial baseada em relações de simbiose, e estão ligados diretamente à definição clássica do conceito enunciada por Chertow (2000).

Os 8 subcritérios intermediários (T2, C1, C2, O1, T3, I1, I2 e P2) possuem prioridades que variam em até 1,50% da média teórica, e consistem de atividades e características relacionadas ao fortalecimento das relações de simbiose industrial, profissionalização da gestão conjunta do EPI, estabelecimento de parcerias e melhora da performance ambiental conjunta das empresas envolvidas, aumentando a confiança dos parceiros, o número de *stakeholders* e reduzindo as incertezas para a rede de suprimentos local.

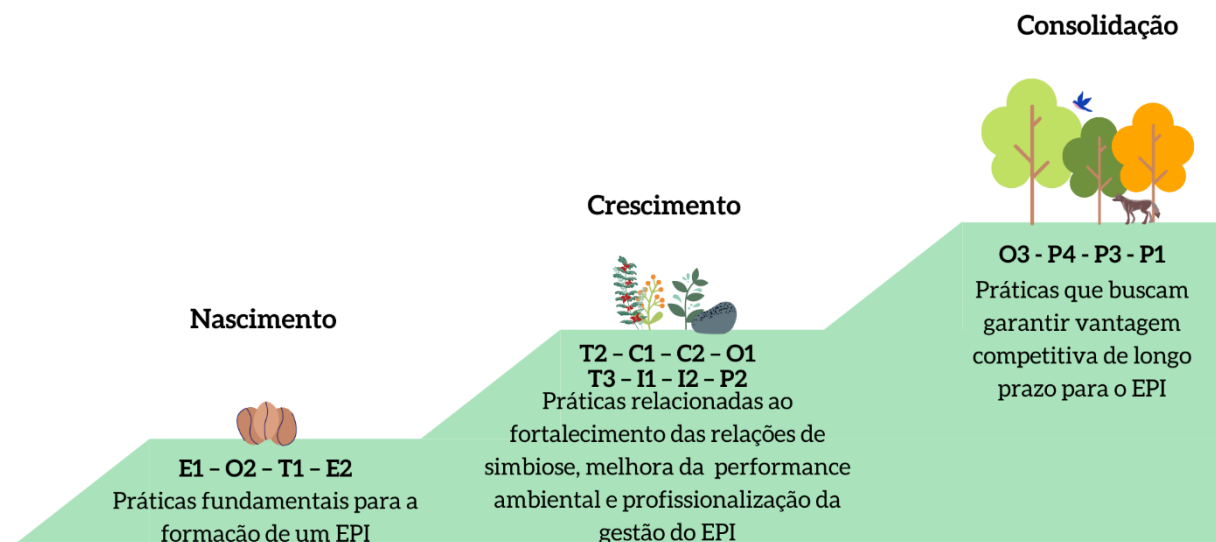
Já os 4 subcritérios com menor importância relativa (O3, P4, P3 e P1) estão ligados ao aumento da escala e escopo dos projetos de simbiose industrial e consequente consolidação do EPI, como a obtenção de incentivos fiscais e apoio governamental para o licenciamento ambiental de obras de grande porte, por exemplo.

É importante frisar que projetos e iniciativas eco-industriais desenvolvidos em contextos muito particulares, como o caso de empreendimentos desenvolvidos em locais com legislações

restritivas, ou em países com alta burocracia ou carga tributária, podem gerar demandas específicas que podem alterar a classificação geral de prioridades para os subcritérios identificados.

De forma análoga ao *framework* de evolução de relações de simbiose desenvolvido por Chertow e Ehrenfeld (2012) que consiste de três fases (nascimento, descoberta e incorporação), também é possível relacionar as práticas identificadas e que compõem os subcritérios de avaliação com diferentes estágios de desenvolvimento de EPIs e outras iniciativas eco-industriais baseadas em relações de simbiose. Abaixo, a Figura 14 ilustra essa relação com a proposição de três fases de desenvolvimento para EPIs baseadas nas práticas adotadas.

Figura 14 – Relação dos subcritérios com os estágios de desenvolvimento de EPIs.



Fonte: Autor.

A seguir, são apresentados os resultados dos testes de hipóteses para a última etapa de pesquisa.

4.3. TESTES DE HIPÓTESES

A etapa final da pesquisa consistiu na realização de 6 testes de hipóteses com o objetivo de determinar se a importância relativa média dada pelo grupo A a determinado critério é igual a importância relativa média dada pelo grupo B segundo uma probabilidade de significância (*p-valor*). Essa afirmação pode ser transcrita pelo seguinte par de hipóteses:

$$\begin{cases} \text{Hipótese } H_0: \mu_a = \mu_b \\ \text{Hipótese } H_1: \mu_a \neq \mu_b \end{cases}$$

Os valores de prioridade individuais foram calculados através do software *Super Decisions* para cada critério, e todos os testes estatísticos foram realizados por meio do software Minitab.

4.3.1. Teste para o critério Técnico

Inicialmente, os valores para o critério Técnico foram analisados. A Tabela 10 apresenta as prioridades individuais de cada especialista para este critério.

Tabela 10 – Prioridades individuais para o critério Técnico

Especialista	Grupo A						Grupo B				
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Prioridade	0,111	0,202	0,143	0,248	0,125	0,347	0,154	0,323	0,206	0,033	0,243

Fonte: Autor.

Após o cálculo das prioridades individuais, foi possível realizar o teste de normalidade de Anderson-Darling e verificar que ambos os conjuntos de dados seguem uma distribuição normal e que nenhum valor *outlier* foi identificado. Também foi possível calcular as medidas descritivas para ambos os grupos. Abaixo, a Tabela 11 apresenta as medidas descritivas das prioridades do critério técnico para os grupos A e B.

Tabela 11 – Medidas descritivas para o critério Técnico

	Grupo A	Grupo B
Média (\bar{x})	0,196	0,192
Mediana	0,172	0,206
Desvio padrão (s)	0,090	0,108
Variância (s^2)	0,008	0,012

Fonte: Autor.

A seguir, o resultado do teste F revelou que as variâncias amostrais dos grupos A e B podem ser consideradas como iguais, já que o *p-valor* retornado (0,694) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05.

Sendo assim, para verificar a veracidade das hipóteses originalmente propostas, foi realizado um teste T para duas amostras independentes e de variâncias iguais. O resultado desse teste indicou que os valores médios de importância relativa que foram registrados para os grupos A e B são iguais, já que o *p-valor* retornado (0,946) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05. Ou seja, com 95% de confiança, a hipótese nula (H_0) não pode ser rejeitada, e afirma-se que ambos os grupos possuem a mesma importância relativa média para o critério Técnico.

4.3.2. Teste para o critério Político

Posteriormente, os valores para o critério Político foram analisados. Abaixo, a Tabela 12 apresenta as prioridades individuais de cada especialista para este critério.

Tabela 12 – Prioridades individuais para o critério Político

Especialista	Grupo A						Grupo B				
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Prioridade	0,140	0,083	0,039	0,146	0,305	0,118	0,236	0,056	0,154	0,312	0,243

Fonte: Autor.

Após o cálculo das prioridades individuais, foi possível realizar o teste de normalidade de Anderson-Darling e verificar que ambos os conjuntos de dados seguem uma distribuição normal e que nenhum valor *outlier* foi identificado. Foram calculadas também as estatísticas descritivas para ambos os grupos. A Tabela 13 apresenta as medidas descritivas das prioridades do critério Político para os grupos A e B.

Tabela 13 – Medidas descritivas para o critério Político

	Grupo A	Grupo B
Média (\bar{x})	0,139	0,200
Mediana	0,129	0,236
Desvio padrão (s)	0,091	0,098
Variância (s^2)	0,008	0,010

Fonte: Autor.

A seguir, o resultado do teste F revelou que as variâncias amostrais dos grupos A e B podem ser consideradas como iguais, já que o *p-valor* retornado (0,849) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05.

Foi então realizado um teste T para duas amostras independentes e de variâncias iguais para verificar a validade das hipóteses propostas. O resultado desse teste indicou que os valores médios de importância relativa que foram registrados para os grupos A e B são iguais, já que o *p-valor* retornado (0,308) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05. Ou seja, com 95% de confiança, a hipótese nula (H_0) não pode ser rejeitada, e afirmar-se que ambos os grupos possuem a mesma importância relativa média para o critério Político.

4.3.3. Teste para o critério Econômico

A seguir, foi a vez de analisar os dados pertinentes ao critério Econômico. A Tabela 14 expõe as prioridades individuais de cada especialista para este critério.

Tabela 14 – Prioridades individuais para o critério Econômico

Especialista	Grupo A						Grupo B				
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Prioridade	0,242	0,277	0,304	0,059	0,129	0,190	0,223	0,305	0,168	0,103	0,243

Fonte: Autor.

Confirmou-se que os dados de ambos os grupos seguem uma distribuição normal por meio da realização do teste de Anderson-Darling e que nenhum valor *outlier* foi identificado. Também foi possível calcular as medidas descritivas para ambos os grupos. Abaixo, a Tabela 15 apresenta as medidas descritivas das prioridades do critério Econômico para os grupos A e B.

Tabela 15 – Medidas descritivas para o critério Econômico

	Grupo A	Grupo B
Média (\bar{x})	0,200	0,208
Mediana	0,216	0,228
Desvio padrão (s)	0,093	0,077
Variância (s^2)	0,009	0,006

Fonte: Autor.

A seguir, o resultado do teste F revelou que as variâncias amostrais dos grupos A e B podem ser consideradas como iguais, já que o *p-valor* retornado (0,728) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05.

Sendo assim, para verificar a veracidade das hipóteses originalmente propostas, foi realizado um teste T para duas amostras independentes e de variâncias iguais. O resultado desse teste indicou que os valores médios de importância relativa que foram registrados para os grupos A e B são iguais, já que o *p-valor* retornado (0,882) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05. Ou seja, com 95% de confiança, a hipótese nula (H_0) não pode ser rejeitada, e afirmar-se que ambos os grupos possuem a mesma importância relativa média para o critério Econômico.

4.3.4. Teste para o critério Informacional

Em seguida, foram analisados os dados para o critério Informacional, os quais são apresentados abaixo pela Tabela 16.

Tabela 16 – Prioridades individuais para o critério Informacional

Especialista	Grupo A						Grupo B				
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Prioridade	0,057	0,202	0,089	0,043	0,125	0,111	0,060	0,040	0,130	0,049	0,127

Fonte: Autor.

O teste de normalidade de Anderson-Darling comprovou que ambos os conjuntos de dados seguem uma distribuição normal e que nenhum valor *outlier* foi identificado. Também foi possível calcular as medidas descritivas para ambos os grupos. A Tabela 17 apresenta as medidas descritivas das prioridades do critério Informacional para os grupos A e B.

Tabela 17 – Medidas descritivas para o critério Informacional

	Grupo A	Grupo B
Média (\bar{x})	0,105	0,081
Mediana	0,101	0,060
Desvio padrão (s)	0,057	0,044
Variância (s^2)	0,003	0,002

Fonte: Autor.

Em seguida, o resultado do teste F revelou que as variâncias amostrais dos grupos A e B podem ser consideradas como iguais, já que o *p-valor* retornado (0,628) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05.

O resultado para o teste T para duas amostras independentes e de variâncias iguais indicou que os valores médios de importância relativa que foram registrados para os grupos A e B são iguais, já que o *p-valor* retornado (0,473) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05. Ou seja, com 95% de confiança, a hipótese nula (H_0) não pode ser rejeitada, e afirmar-se que ambos os grupos possuem a mesma importância relativa média para o critério Informacional.

4.3.5. Teste para o critério Organizacional

Posteriormente, os valores para o critério organizacional foram analisados. A Tabela 18 apresenta as prioridades individuais de cada especialista para este critério.

Tabela 18 – Prioridades individuais para o critério Organizacional

Especialista	Grupo A						Grupo B				
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Prioridade	0,353	0,188	0,372	0,416	0,088	0,099	0,267	0,153	0,113	0,254	0,086

Fonte: Autor.

Após o cálculo das prioridades individuais, foi possível realizar o teste de normalidade de Anderson-Darling e verificar que ambos os conjuntos de dados seguem uma distribuição normal e que nenhum valor *outlier* foi identificado. Também foi possível calcular as medidas descritivas para ambos os grupos. Abaixo, a Tabela 19 apresenta as medidas descritivas das prioridades do critério Organizacional para os grupos A e B.

Tabela 19 – Medidas descritivas para o critério Organizacional

	<i>Grupo A</i>	<i>Grupo B</i>
Média (\bar{x})	0,253	0,174
Mediana	0,271	0,153
Desvio padrão (s)	0,146	0,082
Variância (s^2)	0,021	0,007

Fonte: Autor.

A seguir, o resultado do teste F revelou que as variâncias amostrais dos grupos A e B podem ser consideradas como iguais, já que o *p-valor* retornado (0,288) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05.

Sendo assim, para verificar a veracidade das hipóteses originalmente propostas, foi realizado um teste T para duas amostras independentes e de variâncias iguais. O resultado desse teste indicou que os valores médios de importância relativa que foram registrados para os grupos A e B são iguais, já que o *p-valor* retornado (0,316) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05. Ou seja, com 95% de confiança, a hipótese nula (H_0) não pode ser rejeitada, e afirmar-se que ambos os grupos possuem a mesma importância relativa média para o critério Organizacional.

4.3.6. Teste para o critério Capacitação

Por fim, os dados para o critério Capacitação foram analisados. A Tabela 20 apresenta as prioridades individuais de cada especialista para este critério.

Tabela 20 – Prioridades individuais para o critério Capacitação

	<i>Grupo A</i>						<i>Grupo B</i>				
Especialista	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Prioridade	0,096	0,049	0,054	0,088	0,226	0,134	0,060	0,122	0,229	0,249	0,059

Fonte: Autor.

Após o cálculo das prioridades individuais, foi possível realizar o teste de normalidade de Anderson-Darling e verificar que ambos os conjuntos de dados seguem uma distribuição normal

e que nenhum valor *outlier* foi identificado. Também foi possível calcular as medidas descritivas para ambos os grupos. Abaixo, a Tabela 21 apresenta as medidas descritivas das prioridades do critério Capacitação para os grupos A e B.

Tabela 21 – Medidas descritivas para o critério

	<i>Grupo A</i>	<i>Grupo B</i>
Média (\bar{x})	0,108	0,144
Mediana	0,092	0,122
Desvio padrão (s)	0,066	0,091
Variância (s^2)	0,004	0,008

Fonte: Autor.

A seguir, o resultado do teste F revelou que as variâncias amostrais dos grupos A e B podem ser consideradas como iguais, já que o *p-valor* retornado (0,497) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05.

Sendo assim, para verificar a veracidade das hipóteses originalmente propostas, foi realizado um teste T para duas amostras independentes e de variâncias iguais. O resultado desse teste indicou que os valores médios de importância relativa que foram registrados para os grupos A e B são iguais, já que o *p-valor* retornado (0,466) foi maior que o nível descritivo padrão escolhido de 0,05. Ou seja, com 95% de confiança, a hipótese nula (H_0) não pode ser rejeitada, e afirmar-se que ambos os grupos possuem a mesma importância relativa média para o critério Capacitação.

Os resultados dos testes de hipóteses indicam que apesar dos grupos A e B serem formados por profissionais de perfis distintos, os valores médios de importância relativa se mantêm uniformes entre ambos os conjuntos, demonstrando que tanto os especialistas acadêmicos quanto aqueles provenientes do mercado de trabalho estão alinhados quanto as necessidades e demandas das organizações quanto as necessidades e barreiras enfrentadas pelas iniciativas eco-industriais no país independentemente de sua área de atuação.

4.4 IMPLICAÇÕES PARA A TEORIA E A PRÁTICA

Concluída a etapa de análise de dados e de posse dos resultados, as descobertas desse estudo trazem algumas contribuições para o estado da arte da literatura. Inicialmente, os resultados foram observados sob a luz da teoria organizacional da complexidade, a qual interpreta as organizações e seus ambientes de negócios como sistemas complexos não lineares, nos quais perturbações em um dos nós da rede de suprimentos podem causar efeitos inesperados, aumentando a incerteza do sistema (ANDERSON, 1999). Nessa seara, as organizações buscam desenvolver redes auto-organizadas de relacionamentos simbióticos baseados em confiança e similaridade de visão e objetivos como forma de reduzir a incerteza e implementar mais facilmente boas práticas organizacionais (SARKIS; ZHU; LAI, 2011). A teoria da complexidade já foi utilizada previamente para representar a gestão de EPIs na China pelos pesquisadores Shi, Chertow e Song (2010).

A importância relativa acima da média do subcritério O2 – Confiança entre os parceiros e compatibilidade de visão aponta que a teoria da complexidade aplicada ao ambiente organizacional pode ser utilizada para interpretar as ações e características presentes em EPIs. Desse modo, recomenda-se que pesquisadores e gestores de EPIs se atentem a quais fatores, situações e forças competitivas trazem estabilidade ou instabilidade as organizações, resultando em um aumento ou diminuição do nível de complexidade da rede de suprimentos.

Um dos pontos que emerge com essa descoberta é o de que aspectos que trazem estabilidade ao sistema, como viabilidade econômica e técnica do projeto de simbiose industrial e a confiança e compatibilidade de visão entre os atores parceiros em um EPI são citados como os de maior importância relativa entre os especialistas consultados. Assim, recomenda-se aos gestores de EPIs a implementação prioritária das práticas que visam reduzir incertezas no sistema produtivo, notadamente aquelas que compõem o estágio de nascimento de um EPI (E1 – O2 – T1 – E2), especialmente para empreendimentos conduzidos em ambiente fortemente competitivo e alta instabilidade organizacional.

A ênfase identificada para os relacionamentos baseados em confiança e visão compartilhada pode também contribuir para a discussão do nível de resiliência presente em redes de simbiose. Os pesquisadores Valenzuela-Venegas e outros (2018) definiram que a resiliência de um EPI pode ser caracterizada pelo número de relações de trocas entre as empresas e pela capacidade do parque de recuperar o fluxo de troca de materiais no caso de uma interrupção. Com base na alta importância verificada para a prática O2 e alicerçada na teoria da complexidade, pode-se

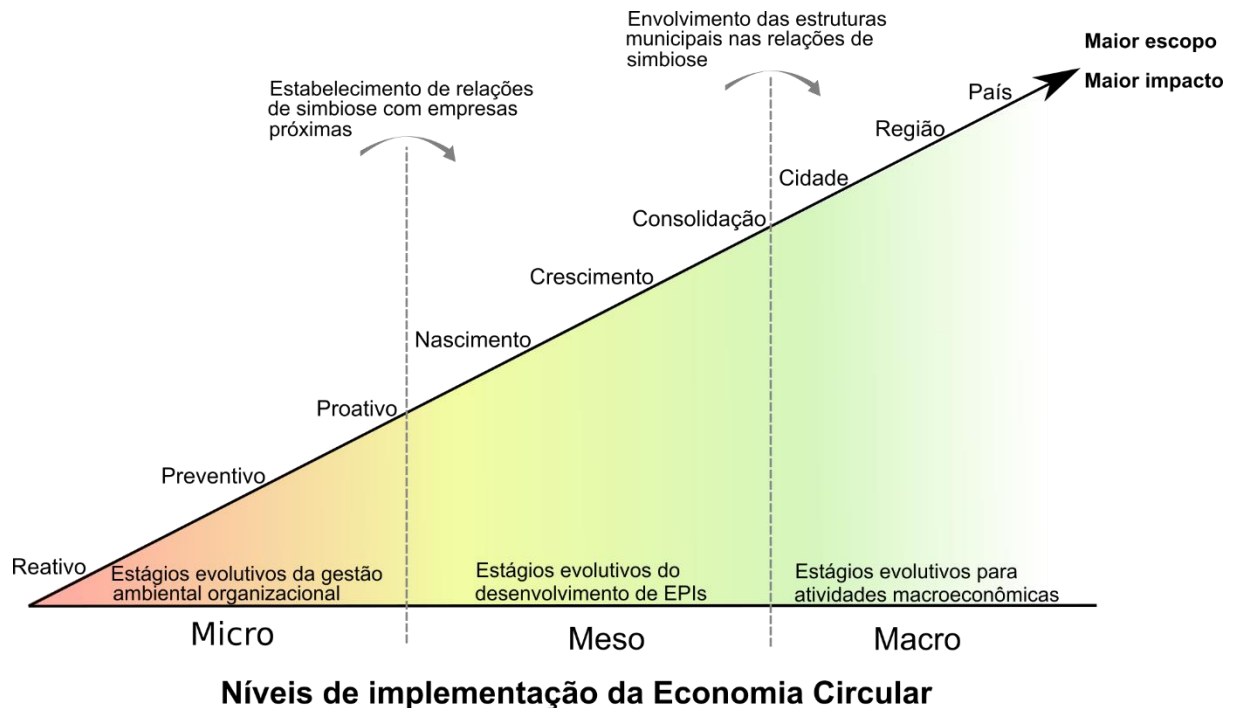
supor que o nível de confiança entre os gestores também está relacionado com o grau de resiliência dos parques, sendo que estudos mais aprofundados são necessários para que se confirme essa hipótese.

O crescimento do movimento ambiental ao longo do século XX, cujos principais eventos são descritos na seção 2.1, levou a uma maior pressão sobre líderes governamentais e gestores de organizações industriais para a proposição de leis e programas de preservação ambiental, para a implementação de boas práticas ambientais, o desenvolvimento de soluções mais eficientes e abrangentes de controle da poluição e disposição adequada de resíduos, culminando na formalização das relações de simbiose industrial e institucionalização dos EPIs (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; SARKIS; DOU, 2017). Nesse contexto, o desenvolvimento de EPIs se relaciona também com a teoria institucional, a qual busca identificar quais são e de qual maneira forças externas as organizações influenciam na tomada de decisão e escolha de projetos (SARKIS; ZHU; LAI, 2011).

De acordo com esse entendimento, um conjunto de forças externas de natureza coercitiva, mimética e normativa tende a influenciar as motivações e escolhas de gestores quanto a definição de prioridades e alocação de recursos durante a implementação de iniciativas eco-industriais (SARKIS; ZHU; LAI, 2011). Desse modo, os pesquisadores devem se atentar ao ambiente organizacional e identificar quais forças competitivas estão presentes e como estas influenciam a tomada de decisão de gestores de empresas de manufatura participantes de relações de simbiose industrial durante pesquisas futuras. Ainda segundo o entendimento da teoria institucional, as divergências de importância relativa entre as práticas identificadas e alguns trabalhos publicados na literatura recente podem estar relacionadas aos diferentes conjuntos de forças externas encontrados nos diferentes contextos nacionais aos quais as organizações e gestores estão sujeitos.

Ao relacionar as práticas levantadas com os estágios de desenvolvimento de um EPI, expandindo o *framework* proposto por Chertow e Ehrenfeld (2012) acerca dos estágios evolutivos das relações de simbiose industrial, o presente estudo também busca tornar mais claro o caminho evolutivo das práticas relacionadas à Economia Circular em seus diferentes níveis de implementação. A Figura 15 ilustra os estágios evolutivos para a implementação da Economia Circular.

Figura 15 – Estágios evolutivos para a implementação da Economia Circular



Fonte: Autor.

Para o nível micro, também chamado de intraorganizacional, geralmente três estágios evolutivos são descritos na literatura – reativo, preventivo e proativo – e refletem tanto o escopo e complexidade das atividades de combate e prevenção da poluição, como também o prestígio e a importância estratégica que a área de meio ambiente dispõe dentro da organização (DONAIRE, 1999; JABBOUR; JABBOUR, 2013). Nesse nível de implementação, o estágio de maior maturidade é o proativo, no qual a área de meio ambiente atua em conjunto com os demais departamentos da organização, influenciando a tomada de decisão em atividades de produção, logística, compra de materiais e seleção de fornecedores (JABBOUR; JABBOUR, 2013). Desse modo, as ações ambientais da empresa passam a influenciar parceiros da rede de suprimentos, com o objetivo de elaborar soluções em conjunto para os desafios ambientais enfrentados, um terreno fértil para o desenvolvimento de relações de simbiose entre a empresa e seus fornecedores próximos e organizações vizinhas.

Com o estabelecimento de uma relação de simbiose e sua eventual “descoberta” por um iniciador, o relacionamento entre as organizações parceiras pode evoluir para o nascimento de um EPI, o qual, após seu crescimento e consolidação, buscará potenciais novos parceiros, ampliando sua rede de simbioses, que pode incluir estruturas municipais (CHERTOW; EHRENFELD, 2012). Um exemplo é dado pela simbiose industrial de Kalundborg, onde parte do aquecimento da cidade é fornecido a baixo custo aos moradores pelas indústrias locais por

meio do envio de vapor excedente dos processos produtivos (BRANSON, 2016; EHRENFELD; GERTLER, 1997).

A inclusão de agentes governamentais locais marca o início da fase macro de implementação do conceito de Economia Circular, que envolve a transformação dos sistemas produtivos, de infraestrutura, sociais e culturais com a adoção de práticas sustentáveis para uma área gradativamente maior – cidades, regiões, estados, país (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

4.5 O FUTURO DOS EPIS NO CONTEXTO NACIONAL

Integrante do Programa de Produção Mais Limpa e Eficiente da Organização das Nações Unidas, o Brasil foi um dos primeiros países escolhidos pela UNIDO e UNEP para receber um Centro Nacional de Produção Mais limpa em 1995 (LUKEN *et al.*, 2016). Esses Centros atuaram na disseminação de boas práticas ambientais, redução e controle da poluição, descarte adequado de resíduos, entre outros elementos precursores dos conceitos de Ecologia Industrial e Economia Circular em países como China (LUKEN *et al.*, 2016), Coreia do Sul (LEE; KIM; KIM, 2011; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016), Vietnã (MASSARD; LEUENBERGER; DONG, 2018), Tailândia (PILOUK; KOOTTATEP, 2017). Nesses locais, os Centros Nacionais influenciaram a discussão de políticas públicas que culminaram na criação de programas de incentivo às práticas de produção mais limpa em empresas de manufatura e, posteriormente, na adoção e fortalecimento de iniciativas eco-industriais.

Em comparação, o Centro brasileiro teve um papel modesto na elaboração de um programa nacional e na proposição de legislação voltada para a adoção em larga escala de práticas de produção mais limpa. Essa situação coloca o Brasil em desvantagem frente a outros países em desenvolvimento, cujas ações dos Centros Nacionais conduziram a uma maior discussão de políticas públicas, e que hoje já contam com legislação estabelecida que formalmente contempla e incentiva iniciativas eco-industriais e estabelecimentos como EPIs a nível nacional.

Atualmente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) pode ser considerada como a força mais prevalente de incentivo ao estabelecimento de EPIs a nível nacional no Brasil, ao estabelecer em seus objetivos a cooperação entre entes públicos e privados para a redução na geração de resíduos e o incentivo a indústria da reciclagem como forma de reduzir a necessidade de novas fontes de matérias-primas (BRASIL, 2010). Apesar da lei não fazer menção aos conceitos de Economia Circular, Simbiose Industrial ou Ecoparques Industriais e nem estabelecer um programa nacional de incentivos para a transformação de parques industriais

tradicionais em EPIs, a legislação determina uma ordem de prioridade na qual as práticas que reduzem a geração de resíduos são as de maior relevância, seguidas das atividades de reuso e reciclagem e do tratamento e disposição adequada dos resíduos sólidos.

Embora estudos definitivos sobre o impacto e a eficácia da PNRS sobre a gestão de resíduos no país ainda são necessários, observou-se o número de municípios que oferecem serviços de coleta seletiva aumentou nos anos após a promulgação da lei (GAMA, 2018). Entretanto, estimativas recentes indicam que esse serviço esteja disponível em apenas 41% das cidades brasileiras, e que cerca de 10% de todo material reciclável produzido é recolhido, indicando que há espaço para expansão de atividades que visam reduzir o volume de resíduos gerados (CONKE; NASCIMENTO, 2018). A maior oferta de serviços de coleta seletiva e reciclagem pode aumentar a disponibilidade de materiais como alumínio, vidro, papelão e plásticos a preços competitivos, permitindo a criação de um ecossistema industrial entre municípios e empresas de manufatura. Ainda, a queima de resíduos urbanos em ambiente controlado para recuperação energética é prevista e regulamentada pela PNRS, podendo ser incorporada a um sistema de simbiose industrial.

Para os resíduos industriais, a PNRS determina que a responsabilidade do tratamento e descarte adequado é do gerador. A lei também impõe que fabricantes estabeleçam redes de logística reversa como forma de garantir o retorno a empresa e a destinação adequada de alguns grupos de produtos potencialmente nocivos ao meio ambiente: pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, produtos eletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010). Para garantir o cumprimento dessas exigências legais, as empresas podem buscar soluções alternativas para o descarte dos resíduos, como o estabelecimento de relações de simbiose industrial que podem evoluir para a conversão de um parque industrial tradicional para um EPI.

Nos últimos anos, diferentes estudos atestaram a viabilidade da conversão de parques industriais em EPIs no Brasil, entretanto essas iniciativas não foram implementadas (NASCIMENTO, 2017; TRAMA, 2016). Pode-se argumentar que a principal barreira para o desenvolvimento desses projetos, e de EPIs no Brasil como um todo, recai na ausência de um agente iniciador proativo, a quem caberia coordenar pesquisas de “descoberta” de relações de simbiose, estudos de viabilidade técnica e econômica, oferecer seminários sobre práticas de Economia Circular e de produção mais limpa, influenciar o discurso de políticas públicas e reforçar os vínculos de confiança entre as empresas parceiras.

Os bons resultados econômicos e ambientais obtidos pelo programa de incentivo à EPIs na Coreia do Sul indicam que projetos baseados em parcerias público-privadas são uma alternativa eficaz para a implementação de iniciativas eco-industriais em países recém-industrializados como o Brasil. Nesse sistema misto, entidades governamentais assumem a coordenação de projetos de simbiose ao auxiliar nas avaliações de viabilidade e oferecer suporte técnico aos gestores, dividindo com as empresas os custos de investimentos em infraestrutura necessária para a implementação da simbiose (BEHERA *et al.*, 2012; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016).

5. CONCLUSÕES

A Economia Circular (EC) surgiu no final do século XX com o objetivo de reformular sistemas produtivos e econômicos ao emular para as organizações os ciclos fechados de trocas de materiais e energia de presentes na natureza, como forma de substituir o sistema linear atual (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017; MCALOONE; PIGOSSO, 2017).

O conceito e as práticas da EC podem ser aplicados para as atividades internas das organizações, mas também para as relações de cooperação entre empresas com a finalidade de melhorar a performance conjunta das companhias parceiras colocalizadas em um Ecoparque Industrial (EPI) (MCALOONE; PIGOSSO, 2017). Um EPI faz uso de relações de simbiose industrial para reduzir a quantidade de matérias-primas e recursos naturais necessários para a produção de bens, assim como diminui o total de resíduos destinados para descarte, reduzindo os custos de operação e trazendo vantagem competitiva às organizações (SARKIS; DOU, 2017; TUDOR; ADAM; BATES, 2007). Apesar dos benefícios trazidos pela transformação de um parque industrial tradicional em EPI ou implantação de seu preceito durante o projeto de um novo parque, a implementação adequada de um ecossistema industrial que promova benefícios a todos os participantes é complexa (AFSHARI; FAREL; PENG, 2018). Atualmente, não há um EPI formalizado em operação no Brasil (TREVISAN *et al.*, 2016).

Desse modo, essa pesquisa buscou identificar quais as principais práticas adotadas em EPIs e quais são suas importâncias relativas para o desenvolvimento desses parques, como forma de facilitar a alocação de capital, tempo e competências num cenário de recursos finitos, elaborando uma ferramenta visual de auxílio ao desenvolvimento de EPIs.

Por meio de uma revisão estruturada da literatura, foram identificadas 16 atividades e características praticadas por EPIs divididas em 6 categorias: Técnica, Econômica, Política, Informacional, Organizacional e Capacitação. Esse *framework* inicial foi modificado por meio do *feedback* de um painel de especialistas quanto a importância relativa das práticas e categorias. A opinião dos especialistas foi coletada utilizando-se o método AHP, no qual as categorias assumiram o papel de critérios e as práticas a função de subcritérios de avaliação. O questionário de pesquisa contendo as matrizes de comparações pareadas foi enviado e recebido via e-mail para especialistas divididos em dois grupos de perfis distintos. O grupo A foi composto por 6 pesquisadores com experiência e estudos relacionados a EPIs e aplicações práticas da EC, enquanto o grupo B reuniu 5 profissionais atuantes na indústria, consultorias e setor público, responsáveis pelo acompanhamento de indicadores ambientais, desembaraço e

controle de licenças, inspeções técnicas, discussão e elaboração de políticas públicas relacionadas ao meio ambiente e saneamento.

Esse estudo identificou que o critério com maior importância relativa foi o Econômico com 28,64% da preferência dos entrevistados, seguido do critério Organizacional (21,53%) e Técnico (19,54%). Estes critérios obtiveram importância maior do que a média teórica (16,67%) que seria obtida caso todos os critérios tivessem a mesma importância. Em contrapartida, a análise dos dados também apontou que o critério Informacional foi o de menor prioridade, alcançando 9,58% da preferência dos entrevistados, e juntamente com os critérios Capacitação (12,10%) e Político (15,41%), ficaram abaixo da média teórica de prioridade.

Uma classificação geral de importância para os subcritérios também foi elaborada, resultando na prevalência do subcritério E1 – Viabilidade econômica da simbiose com 14,06% da preferência dos especialistas entrevistados, seguido de O2 – Confiança entre os parceiros e compatibilidade de visão (12%), T1 – Compartilhamento de materiais e recursos naturais (7,96%) e E2 – Redução do custo de operação (7,78%). Esses subcritérios foram os únicos que ficaram acima da média teórica (6,25%) que seria obtida caso todos os subcritérios tivessem a mesma importância. A partir dessa classificação, foi possível relacionar as práticas levantadas com estágios de desenvolvimento de um EPI, de forma análoga ao *framework* proposto por Chertow e Ehrenfeld (2012) para os estágios de evolução de relações de simbiose industrial.

Os dados obtidos destacam a importância da viabilidade econômica das relações de simbiose e da confiança entre os parceiros para o desenvolvimento de iniciativas eco-industriais, corroborando respectivamente as descobertas dos estudos conduzidos por Agyemang et al. (2019) Ehrenfeld e Gertler (1997) quanto à importância desses aspectos em implementações práticas dos conceitos de EC.

Já a baixa prioridade reportada pelos critérios Político e Capacitação contrastam diretamente com estudos que buscaram examinar a implementação de ações sustentáveis na rede de suprimentos, nos quais a falta de apoio governamental e a ausência de competência são citados como importantes barreiras para indústrias na Índia (LUTHRA *et al.*, 2016; SHIBIN *et al.*, 2016). Dessa forma, uma questão levantada por essa pesquisa é a influência dos contextos nacionais e perfis das organizações participantes nas relações de simbiose sobre a importância relativa desses conjuntos de práticas para o desenvolvimento de EPIs.

Além disso, não foi observada diferença significativa quanto ao nível de importância dado para os critérios entre perfis distintos de profissionais que compuseram os grupos de pesquisa. Esse

resultado aponta que os profissionais consultados estão alinhados às necessidades e barreiras enfrentadas pelas iniciativas eco-industriais no país independentemente de sua área de atuação.

A generalização dos resultados obtidos está sujeita a certas limitações. Por exemplo, durante a revisão estruturada da literatura um número limitado de termos de pesquisa foi utilizado como forma de manter o tema restrito a EPIs, e também o viés do pesquisador é presente durante a seleção dos artigos que irão compor o objeto de estudo. Ainda, apesar da seleção dos especialistas ter incluído profissionais de diferentes perfis, o método AHP está sujeito a vieses temporais e de contextos, assim como incertezas naturais do processo de decisão humano.

Sobretudo, estudos mais aprofundados são necessários para investigar a influência do contexto no qual o projeto de simbiose ou EPI está inserido para a importância das práticas que formam as categorias Políticas e de Capacitação no desenvolvimento de ecossistemas industriais. E de forma geral, também determinar se contextos nacionais distintos produzem diferentes ordens de prioridade para as práticas identificadas.

Espera-se que o *framework* proposto facilite a alocação de recursos e competências durante o projeto de novas relações de simbiose, na transformação de parques industriais tradicionais em EPIs, ou mesmo que os pontos conceituais aqui apresentados sejam levados em consideração durante o *design* de EPIs do tipo *greenfield*, e dessa forma ajude a fomentar a implementação e o desenvolvimento dessas iniciativas eco-industriais no Brasil.

REFERÊNCIAS

- AFSHARI, H.; FAREL, R.; PENG, Q. Challenges of value creation in Eco-Industrial Parks (EIPs): A stakeholder perspective for optimizing energy exchanges. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 139, p. 315–325, 1 Dec. 2018. DOI 10.1016/j.resconrec.2018.09.002. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.002>. Accessed on: 11 Feb. 2020.
- AGRAWAL, A.; COCKBURN, I. The anchor tenant hypothesis: exploring the role of large, local, R&D-intensive firms in regional innovation systems. **International Journal of Industrial Organization**, vol. 21, no. 9, p. 1227–1253, 1 Nov. 2003. DOI 10.1016/S0167-7187(03)00081-X. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0167-7187\(03\)00081-X](https://doi.org/10.1016/S0167-7187(03)00081-X). Accessed on: 2 Mar. 2020.
- AGYEMANG, M.; KUSI-SARPONG, S.; KHAN, S. A.; MANI, V.; REHMAN, S. T.; KUSI-SARPONG, H. Drivers and barriers to circular economy implementation. **Management Decision**, vol. 57, no. 4, p. 971–994, 18 Apr. 2019. DOI 10.1108/MD-11-2018-1178. Available at: <https://doi.org/10.1108/MD-11-2018-1178>. Accessed on: 27 Jul. 2020.
- AL-HARBI, K. M. A.-S. Application of the AHP in project management. **International Journal of Project Management**, vol. 19, no. 1, p. 19–27, 1 Jan. 2001. DOI 10.1016/S0263-7863(99)00038-1. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-1). Accessed on: 21 Feb. 2020.
- ANDERSON, P. Perspective: Complexity Theory and Organization Science. **Organization Science**, vol. 10, no. 3, p. 216–232, Jun. 1999. DOI 10.1287/orsc.10.3.216. Available at: <https://doi.org/10.1287/orsc.10.3.216>. Accessed on: 28 Jul. 2020.
- AYRES, B. D. Three Mile Island: Notes From a Nightmare. **The New York Times**, Middletown, PA, , p. 1, 16 Apr. 1979. Available at: <https://www.nytimes.com/1979/04/16/archives/three-mile-island-notes-from-a-nightmare-three-mile-island-a.html>. Accessed on: 4 Mar. 2020.
- AYRES, R. U. Industrial Metabolism. *In*: AUSUBEL, J. H.; SLADOVICH, H. E. (eds.). **Technology and Environment**. 1st ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 1989. p. 23–49.
- BAAS, L. Cleaner production and industrial ecosystems, a Dutch experience. **Journal of Cleaner Production**, vol. 6, no. 3–4, p. 189–197, Sep. 1998. DOI 10.1016/S0959-6526(98)00015-8. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(98\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(98)00015-8). Accessed on: 24 Feb. 2020.
- BAAS, L. .; BOONS, F. . An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems. **Journal of Cleaner Production**, vol. 12, no. 8–10, p. 1073–1085, Oct. 2004. DOI 10.1016/j.jclepro.2004.02.005. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.005>. Accessed on: 15 Dec. 2019.
- BAAS, L. W.; KOREVAAR, G. Eco-Industrial Parks in The Netherlands: The Rotterdam Harbor and Industry Complex. *In*: HARMSEN, J.; POWELL, J. B. (eds.). **Sustainable Development in the Process Industries**. 1st ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010. p. 59–79. DOI 10.1002/9780470586099.ch5. Available at: <https://doi.org/10.1002/9780470586099.ch5>. Accessed on: 20 May 2018.
- BAI, L.; QIAO, Q.; YAO, Y.; GUO, J.; XIE, M. Insights on the development progress of National Demonstration eco-industrial parks in China. **Journal of Cleaner Production**, vol.

70, p. 4–14, 1 May 2014. DOI 10.1016/j.jclepro.2014.01.084. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.084>. Accessed on: 30 Oct. 2019.

BAN, Y. U.; JEONG, J. H.; JEONG, S. K. Assessing the performance of carbon dioxide emission reduction of commercialized eco-industrial park projects in South Korea. **Journal of Cleaner Production**, vol. 114, p. 124–131, 15 Feb. 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.09.083. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.083>. Accessed on: 20 May 2018.

BANDA, W. An integrated framework comprising of AHP, expert questionnaire survey and sensitivity analysis for risk assessment in mining projects. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, vol. 14, no. 3, p. 180–192, 3 Jul. 2019. DOI 10.1080/17509653.2018.1516577. Available at: <https://doi.org/10.1080/17509653.2018.1516577>. Accessed on: 21 Feb. 2020.

BEHERA, S. K.; KIM, J.-H.; LEE, S.-Y.; SUH, S.; PARK, H.-S. Evolution of ‘designed’ industrial symbiosis networks in the Ulsan Eco-industrial Park: ‘research and development into business’ as the enabling framework. **Journal of Cleaner Production**, vol. 29–30, p. 103–112, 1 Jul. 2012. DOI 10.1016/j.jclepro.2012.02.009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.009>. Accessed on: 30 Oct. 2019.

BELAUD, J.-P.; ADOUE, C.; VIALLE, C.; CHORRO, A.; SABLAYROLLES, C. A circular economy and industrial ecology toolbox for developing an eco-industrial park: perspectives from French policy. **Clean Technologies and Environmental Policy**, vol. 21, no. 5, p. 967–985, 21 Jul. 2019. DOI 10.1007/s10098-019-01677-1. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01677-1>. Accessed on: 30 Oct. 2019.

BELAUD, J. P.; ADOUE, C.; SABLAYROLLES, C.; VIALLE, C.; CHORRO, A. Decision making approach for industrial ecology: Layout and commercialization of an industrial park. **Chemical Engineering Transactions**, vol. 57, p. 1561–1566, 2017. DOI 10.3303/CET1757261. Available at: <https://doi.org/10.3303/CET1757261>. Accessed on: 30 Oct. 2019.

BELLANTUONO, N.; CARBONARA, N.; PONTRANDOLFO, P. The organization of eco-industrial parks and their sustainable practices. **Journal of Cleaner Production**, vol. 161, p. 362–375, 10 Sep. 2017. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.05.082. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.082>. Accessed on: 11 Nov. 2019.

BHATIA, R.; WERNHAM, A. Integrating Human Health into Environmental Impact Assessment: An Unrealized Opportunity for Environmental Health and Justice. **Environmental Health Perspectives**, vol. 116, no. 8, p. 991–1000, Aug. 2008. DOI 10.1289/ehp.11132. Available at: <https://doi.org/10.1289/ehp.11132>. Accessed on: 5 Mar. 2020.

BLEIJENBERGH, I.; KORZILIUS, H.; VERSCHUREN, P. Methodological criteria for the internal validity and utility of practice oriented research. **Quality & Quantity**, vol. 45, no. 1, p. 145–156, 8 Jan. 2011. DOI 10.1007/s11135-010-9361-5. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11135-010-9361-5>. Accessed on: 6 Mar. 2020.

BLOIS, K. J. Trust in Business to Business Relationships: An Evaluation of its Status. **Journal of Management Studies**, vol. 36, no. 2, p. 197–215, 1 Mar. 1999. DOI 10.1111/1467-6486.00133. Available at: <https://doi.org/10.1111/1467-6486.00133>. Accessed on: 25 Feb. 2020.

BOISSONEAULT, L. The Cuyahoga River Caught Fire at Least a Dozen Times, but No One Cared Until 1969. **Smithsonian Magazine**, Washington, D.C., 19 Jun. 2019. Available at: <https://www.smithsonianmag.com/history/cuyahoga-river-caught-fire-least-dozen-times-no-one-cared-until-1969-180972444/>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

BOONS, F.; CHERTOW, M. R.; PARK, J.; SPEKKINK, W.; SHI, H. Industrial Symbiosis Dynamics and the Problem of Equivalence: Proposal for a Comparative Framework. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 21, no. 4, p. 938–952, Aug. 2017. DOI 10.1111/jiec.12468. Available at: <https://doi.org/10.1111/jiec.12468>. Accessed on: 31 Dec. 2019.

BRADY, J. Three Mile Island Nuclear Plant To Close, Latest Symbol Of Struggling Industry. **NPR**, 8 May 2019. Available at: <https://www.npr.org/2019/05/08/721514875/three-mile-island-nuclear-plant-to-close-latest-symbol-of-struggling-industry>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

BRAGG, J. R.; PRINCE, R. C.; HARNER, E. J.; ATLAS, R. M. Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill. **Nature**, vol. 368, no. 6470, p. 413–418, Mar. 1994. DOI 10.1038/368413a0. Available at: <https://doi.org/10.1038/368413a0>.

BRANSON, R. Re-constructing Kalundborg: the reality of bilateral symbiosis and other insights. **Journal of Cleaner Production**, vol. 112, p. 4344–4352, 20 Jan. 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.07.069. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.069>. Accessed on: 30 Oct. 2019.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, p. 3, 2010. Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Accessed on: 24 Jun. 2018.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Cradle to cradle: criar e reciclar ilimitadamente**. 1st ed. São Paulo: Gustavo Gili, 2014.

BROWN, M. H. Love Canal and the Poisoning of America. **The Atlantic**, vol. 244, no. 6, p. 33–47, Dec. 1979. Available at: <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/1979/12/love-canal-and-the-poisoning-of-america/376297/>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

BRUNDTLAND, G. H. Our Common Future - Call for Action. **Environmental Conservation**, vol. 14, no. 4, p. 291–294, 24 Aug. 1987. DOI 10.1017/S0376892900016805. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0376892900016805>. Accessed on: 22 Jan. 2020.

BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. **Practical handbook of material flow analysis**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. <https://doi.org/10.1007/bf02979426>.

BULUT, E.; DURU, O.; KEÇEÇI, T.; YOSHIDA, S. Use of consistency index, expert prioritization and direct numerical inputs for generic fuzzy-AHP modeling: A process model for shipping asset management. **Expert Systems with Applications**, vol. 39, no. 2, p. 1911–1923, 1 Feb. 2012. DOI 10.1016/j.eswa.2011.08.056. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.056>. Accessed on: 21 Feb. 2020.

CARSON, R. **Silent Spring**. Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt, 2002.

CEGLIA, D.; ABREU, M. C. S. de; DA SILVA FILHO, J. C. L. Critical elements for eco-retrofitting a conventional industrial park: Social barriers to be overcome. **Journal of Environmental Management**, vol. 187, p. 375–383, 1 Feb. 2017. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.10.064. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.064>. Accessed on: 11 Feb. 2020.

CEPERJ - CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICAS PESQUISAS E FORMAÇÃO DE SERVIDORES PÚBLICOS DO RIO DE JANEIRO. **Mapa da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2019. Available at: <http://www.ceperj.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=79>.

CHERTOW, M. R. Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. **Annual Review of Energy and the Environment**, vol. 25, no. 1, p. 313–337, Nov. 2000. DOI 10.1146/annurev.energy.25.1.313. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>. Accessed on: 22 Aug. 2018.

CHERTOW, M. R. “Uncovering” Industrial Symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 11, no. 1, p. 11–30, 9 Oct. 2008. DOI 10.1162/jiec.2007.1110. Available at: <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>.

CHERTOW, M. R.; ASHTON, W. S.; ESPINOSA, J. C. Industrial Symbiosis in Puerto Rico: Environmentally Related Agglomeration Economies. **Regional Studies**, vol. 42, no. 10, p. 1299–1312, Dec. 2008. DOI 10.1080/00343400701874123. Available at: <https://doi.org/10.1080/00343400701874123>. Accessed on: 20 Nov. 2019.

CHERTOW, M. R.; EHRENFELD, J. Organizing Self-Organizing Systems. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 16, no. 1, p. 13–27, 1 Feb. 2012. DOI 10.1111/j.1530-9290.2011.00450.x. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00450.x>. Accessed on: 19 Nov. 2019.

CHERTOW, M. R.; PARK, J. Scholarship and Practice in Industrial Symbiosis: 1989–2014. *In*: CLIFT, R.; DRUCKMAN, A. (eds.). **Taking Stock of Industrial Ecology**. 1st ed. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 87–116. DOI 10.1007/978-3-319-20571-7_5. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7_5. Accessed on: 31 Dec. 2019.

CONKE, L. S.; NASCIMENTO, E. P. do. A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, vol. 10, no. 1, p. 199–212, Apr. 2018. DOI 10.1590/2175-3369.010.001.ao14. Available at: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.ao14>. Accessed on: 12 Aug. 2020.

CÔTÉ, R. P. **A primer on industrial ecosystems: A Strategy for Sustainable Industrial Development**. 1st ed. Halifax: Dalhousie University, 2003.

CÔTÉ, R. P.; SMOLENAARS, T. Supporting pillars for industrial ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, vol. 5, no. 1–2, p. 67–74, 1 Jan. 1997. DOI 10.1016/S0959-6526(97)00016-4. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00016-4](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00016-4). Accessed on: 29 Feb. 2020.

CRESWELL, J. W. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches**. 4th ed. Los Angeles: Sage Publications, 2014.

DADDI, T.; TESSITORE, S.; TESTA, F. Industrial ecology and eco-industrial development: case studies from Italy. **Progress in Industrial Ecology, An International Journal**, vol. 9, no. 3, p. 217, 2015. DOI 10.1504/PIE.2015.073414. Available at: <https://doi.org/10.1504/PIE.2015.073414>. Accessed on: 20 May 2018.

DAILY, G. C. **Nature’s services: societal dependence on natural ecosystems**. 4th ed. Washington, D.C.: Island Press, 1997.

DARKO, A.; CHAN, A. P. C.; AMEYAW, E. E.; OWUSU, E. K.; PÄRN, E.; EDWARDS, D. J. Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction.

International Journal of Construction Management, vol. 19, no. 5, p. 436–452, 3 Sep. 2019. DOI 10.1080/15623599.2018.1452098. Available at: <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452098>. Accessed on: 20 Feb. 2020.

DE CAMARGO FIORINI, P.; JABBOUR, C. J. C. Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society: Where we are and where we are going. **International Journal of Information Management**, vol. 37, no. 4, p. 241–249, Aug. 2017. DOI 10.1016/j.ijinfomgt.2016.12.004. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.12.004>.

DESROCHERS, P. Cities and Industrial Symbiosis: Some Historical Perspectives and Policy Implications. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 5, no. 4, p. 29–44, Sep. 2001. DOI 10.1162/10881980160084024. Available at: <https://doi.org/10.1162/10881980160084024>. Accessed on: 18 Dec. 2019.

DEUTZ, P.; GIBBS, D. Eco-industrial development and economic development: industrial ecology or place promotion? **Business Strategy and the Environment**, vol. 13, no. 5, p. 347–362, Sep. 2004. DOI 10.1002/bse.416. Available at: <https://doi.org/10.1002/bse.416>. Accessed on: 20 Dec. 2019.

DIAMOND, S. The Bhopal Disaster: How it happened. **New York Times**, New York, , p. 1, 28 Jan. 1985. Available at: <https://www.nytimes.com/1985/01/28/world/the-bhopal-disaster-how-it-happened.html>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

DOMENECH, T.; BLEISCHWITZ, R.; DORANOVA, A.; PANAYOTOPOULOS, D.; ROMAN, L. Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe_ typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 141, no. October 2018, p. 76–98, Feb. 2019. DOI 10.1016/j.resconrec.2018.09.016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.016>.

DONAIRE, D. **Gestão Ambiental na Empresa - Fundamentos e Aplicações**. 2nd ed. São Paulo: Atlas, 1999.

DUNGELHOFF, J.; MOORE, C. Questions still haunt victims of Toulouse chemical plant blast. **France 24**, Toulouse, 23 Jan. 2015. Available at: <https://www.france24.com/en/20150123-revisited-toulouse-azf-factory-trial>.

EHRENFELD, J.; GERTLER, N. Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 1, no. 1, p. 67–79, Dec. 1997. DOI 10.1162/jiec.1997.1.1.67. Available at: <https://doi.org/10.1162/jiec.1997.1.1.67>.

ELABRAS VEIGA, L. B.; MAGRINI, A. Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, vol. 17, no. 7, p. 653–661, May 2009. DOI 10.1016/j.jclepro.2008.11.009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.009>.

ELKINGTON, J. Enter the triple bottom line. *In*: HENRIQUES, A.; RICHARDSON, J. (eds.). **The Triple Bottom Line: Does it All Add Up**. 1st ed. London: Routledge, 2013. p. 1–16. DOI 10.4324/9781849773348. Available at: <https://doi.org/10.4324/9781849773348>. Accessed on: 23 Jan. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards a Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition**. 1st ed. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. What is a Circular Economy? 2017. **The Ellen Macarthur Foundation**. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>. Accessed on: 20 May 2018.

ELMASSAH, S. Industrial symbiosis within eco-industrial parks: Sustainable development for Borg El-Arab in Egypt. **Business Strategy and the Environment**, vol. 27, no. 7, p. 884–892, Nov. 2018. DOI 10.1002/bse.2039. Available at: <https://doi.org/10.1002/bse.2039>. Accessed on: 23 Dec. 2019.

EMMELIN, L. The Stockholm Conferences. **Ambio**, vol. 1, no. 4, p. 135–140, 1972. Available at: <https://www.jstor.org/stable/4311965>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

EPA. The Origins of EPA. 2018. **EPA History**. Available at: <https://www.epa.gov/history/origins-epa>. Accessed on: 13 Jan. 2020.

EQUINOR. Kalundborg refinery. 2020. Available at: <https://www.equinor.com/en/what-we-do/terminals-and-refineries/kalundborg.html>. Accessed on: 3 Mar. 2020.

ERKMAN, S. Industrial ecology: An historical view. **Journal of Cleaner Production**, vol. 5, no. 1–2, p. 1–10, 1 Jan. 1997. DOI 10.1016/S0959-6526(97)00003-6. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00003-6). Accessed on: 28 Feb. 2020.

ESTY, D. C.; PORTER, M. E. Industrial Ecology and Competitiveness. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 2, no. 1, p. 35–43, 1 Dec. 1998. DOI 10.1162/jiec.1998.2.1.35. Available at: <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.1.35>. Accessed on: 28 Feb. 2020.

FALAGAS, M. E.; PITSOUNI, E. I.; MALIETZIS, G. A.; PAPPAS, G. Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. **The FASEB Journal**, vol. 22, no. 2, p. 338–342, 20 Feb. 2008. DOI 10.1096/fj.07-9492LSF. Available at: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100067>. Accessed on: 30 Nov. 2018.

FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M. Z.; EKVALL, T.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A.; PENNINGTON, D.; SUH, S. Recent developments in Life Cycle Assessment. **Journal of Environmental Management**, vol. 91, no. 1, p. 1–21, 1 Oct. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>.

FISCHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H. Sustainable development: socio-economic metabolism and colonization of nature. **International Social Science Journal**, vol. 50, no. 158, p. 573–587, 16 Dec. 1998. DOI 10.1111/1468-2451.00169. Available at: <https://doi.org/10.1111/1468-2451.00169>. Accessed on: 29 Feb. 2020.

FISHER, B.; KERRY TURNER, R. Ecosystem services: Classification for valuation. **Biological Conservation**, vol. 141, no. 5, p. 1167–1169, May 2008. DOI 10.1016/j.biocon.2008.02.019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.02.019>. Accessed on: 27 Jan. 2020.

FRAGA, É.; CARNEIRO, M.; PAMPLONA, N. Peso da indústria no PIB cai ao menor nível da série. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 31 May 2019. Available at: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2019/05/peso-da-industria-no-pib-cai-ao-menor-nivel-da-serie.shtml>.

FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. Strategies for Manufacturing. **Scientific American**, vol. 261, no. 3, p. 144–152, Sep. 1989. DOI 10.1038/scientificamerican0989-144. Available at: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144>.

GAMA, M. Pesquisa aponta crescimento de cidades com coleta seletiva. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 10 Dec. 2018. Available at: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/12/pesquisa-aponta-crescimento-de-cidades-com-coleta-seletiva.shtml>. Accessed on: 12 Aug. 2020.

GENG, Y.; DOBERSTEIN, B. Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving “leapfrog development.” **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, vol. 15, no. 3, p. 231–239, 8 Jun. 2008. DOI 10.3843/SusDev.15.3:6. Available at: <https://doi.org/10.3843/SusDev.15.3:6>. Accessed on: 5 Mar. 2020.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, vol. 114, p. 11–32, Feb. 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.09.007. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>. Accessed on: 7 Sep. 2018.

GIBBS, D.; DEUTZ, P. Implementing industrial ecology? Planning for eco-industrial parks in the USA. **Geoforum**, vol. 36, no. 4, p. 452–464, Jul. 2005. DOI 10.1016/j.geoforum.2004.07.009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2004.07.009>. Accessed on: 23 Dec. 2019.

GIBBS, D.; DEUTZ, P. Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. **Journal of Cleaner Production**, vol. 15, no. 17, p. 1683–1695, Nov. 2007. DOI 10.1016/j.jclepro.2007.02.003. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.003>. Accessed on: 24 Dec. 2019.

GOLDEN, B. L.; WASIL, E. A.; HARKER, P. T. **The Analytic Hierarchy Process**. Berlin, Heidelberg: Springer, 1989. DOI 10.1007/978-3-642-50244-6. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-50244-6>. Accessed on: 20 Feb. 2020.

GOVINDAN, K.; HASANAGIC, M. A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. **International Journal of Production Research**, vol. 56, no. 1–2, p. 278–311, 17 Jan. 2018. DOI 10.1080/00207543.2017.1402141. Available at: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402141>. Accessed on: 27 Jul. 2020.

GRAEDEL, T. E.; LIFSET, R. J. Industrial Ecology’s First Decade. *In*: CLIFT, R.; DRUCKMAN, A. (eds.). **Taking Stock of Industrial Ecology**. 1st ed. Cham: Springer International Publishing, 2016. vol. 21, p. 3–20. DOI 10.1007/978-3-319-20571-7_1. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7_1. Accessed on: 29 Feb. 2020.

GRAY, R. The true toll of the Chernobyl disaster. 25 Jul. 2019. **BBC Future**. Available at: <https://www.bbc.com/future/article/20190725-will-we-ever-know-chernobyls-true-death-toll>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

GUO, X.; KAPUCU, N. Assessing social vulnerability to earthquake disaster using rough analytic hierarchy process method: A case study of Hanzhong City, China. **Safety Science**, vol. 125, p. 104625, 1 May 2020. DOI 10.1016/j.ssci.2020.104625. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104625>. Accessed on: 21 Feb. 2020.

HAMILTON, J. How California’s Worst Oil Spill Turned Beaches Black And The Nation Green. **NPR Environment**, , p. 1, 28 Jan. 2019. Available at: <https://www.npr.org/2019/01/28/688219307/how-californias-worst-oil-spill-turned-beaches-black-and-the-nation-green>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

HE, F.; MIAO, X.; WONG, C. W. Y.; LEE, S. Contemporary corporate eco-innovation

research: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, vol. 174, p. 502–526, Feb. 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.10.314. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.314>.

HEERES, R. R.; VERMEULEN, W. J. V.; DE WALLE, F. B. Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons. **Journal of Cleaner Production**, vol. 12, no. 8–10, p. 985–995, Oct. 2004. DOI 10.1016/j.jclepro.2004.02.014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.014>. Accessed on: 24 Dec. 2019.

HILL, G. A 200-Point Ecology Plan Gains at U.N. Conference. **The New York Times**, Stockholm, , p. 12, 1972. Available at: <https://www.nytimes.com/1972/06/15/archives/a-200point-ecology-plan-gains-at-un-conference.html>.

HILL, G. Midpoint of ‘Environmental Decade’: Impact of National Policy Act Assessed. **The New York Times**, New York, no. 14, 18 Feb. 1975. Available at: <https://www.nytimes.com/1975/02/18/archives/midpoint-of-environmental-decade-impact-of-national-policy-act.html>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

HILLARY, R. **Environmental Management Systems and Cleaner Production**. 1st ed. Chichester: John Wiley & Sons, Inc., 1997. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Environmental+Management+Systems+and+Cleaner+Production-p-9780471966623>.

HUANG, Y.; WILKINSON, I. F. The dynamics and evolution of trust in business relationships. **Industrial Marketing Management**, vol. 42, no. 3, p. 455–465, 1 Apr. 2013. DOI 10.1016/j.indmarman.2013.02.016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2013.02.016>. Accessed on: 25 Feb. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da População**. Brasília, DF: IBGE, 2019. Available at: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Brasília, DF: IBGE, 2017. Available at: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=downloads>.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework**. Geneva: ISO, 2006.

JABBOUR, A. B. L. de S.; JABBOUR, C. J. C. **Gestão Ambiental Nas Organizações - Fundamentos e Tendências**. 1st ed. São Paulo: Atlas, 2013.

JACOBSEN, N. B. Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 10, no. 1–2, p. 239–255, 8 Feb. 2008. DOI 10.1162/108819806775545411. Available at: <https://doi.org/10.1162/108819806775545411>. Accessed on: 21 Feb. 2020.

JENSEN, P. D.; BASSON, L.; HELLAWELL, E. E.; BAILEY, M. R.; LEACH, M. Quantifying ‘geographic proximity’: Experiences from the United Kingdom’s National Industrial Symbiosis Programme. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 55, no. 7, p. 703–712, 1 May 2011. DOI 10.1016/j.resconrec.2011.02.003. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.003>. Accessed on: 1 Mar. 2020.

JINPING, T.; LIU WEI, L.; NA, Z.; LÜJUN, C. Review of eco-industrial park development in China. **Acta Ecologica Sinica**, vol. 36, no. 22, p. 7323–7334, 2016. DOI 10.5846/stxb201507291586. Available at: <https://doi.org/10.5846/stxb201507291586>. Accessed on: 20 May 2018.

KOTHARI, C. R. **Research methodology: Methods and techniques**. 2nd ed. New Delhi: New Age International, 2004.

LAGE JUNIOR, M.; GODINHO FILHO, M. Variations of the kanban system: Literature review and classification. **International Journal of Production Economics**, vol. 125, no. 1, p. 13–21, 1 May 2010. DOI 10.1016/j.ijpe.2010.01.009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.01.009>. Accessed on: 23 Jun. 2018.

LAU, L. C.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R. Global warming mitigation and renewable energy policy development from the Kyoto Protocol to the Copenhagen Accord—A comment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 16, no. 7, p. 5280–5284, 1 Sep. 2012. DOI 10.1016/j.rser.2012.04.006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.006>. Accessed on: 5 Mar. 2020.

LEBLANC, R.; TRANCHANT, C.; GAGNON, Y.; CÔTÉ, R. Potential for Eco-Industrial Park Development in Moncton, New Brunswick (Canada): A Comparative Analysis. **Sustainability**, vol. 8, no. 5, p. 472, 12 May 2016. DOI 10.3390/su8050472. Available at: <https://doi.org/10.3390/su8050472>. Accessed on: 26 Dec. 2019.

LEE, J.; KIM, S.; KIM, J. Introduction of KNCPC (Korea National Cleaner Production Center) and Activity on Green Growth. In: HAN, M.-W.; LEE, J. (eds.). **Proceedings of the EU-Korea Conference on Science and Technology**. 1st ed. Vienna: Springer Science and Business Media, LLC, 2011. vol. 138, p. 35–40. DOI 10.1007/978-3-642-17913-6_5. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-642-17913-6_5. Accessed on: 21 Nov. 2019.

LEHTORANTA, S.; NISSINEN, A.; MATTILA, T.; MELANEN, M. Industrial symbiosis and the policy instruments of sustainable consumption and production. **Journal of Cleaner Production**, vol. 19, no. 16, p. 1865–1875, 1 Apr. 2011. DOI 10.1016/j.jclepro.2011.04.002. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.002>. Accessed on: 24 Feb. 2020.

LI, Y.; HUANG, S.; YIN, C.; SUN, G.; GE, C. Construction and countermeasure discussion on government performance evaluation model of air pollution control: A case study from Beijing-Tianjin-Hebei region. **Journal of Cleaner Production**, vol. 254, p. 120072, 1 May 2020. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.120072. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120072>. Accessed on: 21 Feb. 2020.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, vol. 115, p. 36–51, 1 Mar. 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.12.042. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

LIU, Z.; ADAMS, M.; COTE, R. P.; GENG, Y.; LI, Y. Comparative study on the pathways of industrial parks towards sustainable development between China and Canada. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 128, p. 417–425, Jan. 2018. DOI 10.1016/j.resconrec.2016.06.012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.012>.

LOWE, E. A. Creating by-product resource exchanges: Strategies for eco-industrial parks. **Journal of Cleaner Production**, vol. 5, no. 1–2, p. 57–65, 1 Jan. 1997. DOI 10.1016/S0959-

6526(97)00017-6. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00017-6). Accessed on: 3 Feb. 2019.

LOWE, E. A.; EVANS, L. K. Industrial ecology and industrial ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, vol. 3, no. 1–2, p. 47–53, Jan. 1995. DOI 10.1016/0959-6526(95)00045-G. Available at: <https://doi.org/>. Accessed on: 12 Sep. 2018.

LOWE, E. A.; MORAN, S. R.; HOLMES, D. B. **A Fieldbook for the Development of Eco-Industrial Parks**. 1st ed. Oakland: Indigo Development, 1996.

LOWITT, P. C. Devens Redevelopment. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 12, no. 4, p. 497–500, Aug. 2008. DOI 10.1111/j.1530-9290.2008.00078.x. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00078.x>. Accessed on: 20 May 2018.

LU, Y.; CHEN, B.; FENG, K.; HUBACEK, K. Ecological Network Analysis for Carbon Metabolism of Eco-industrial Parks: A Case Study of a Typical Eco-industrial Park in Beijing. **Environmental Science & Technology**, vol. 49, no. 12, p. 7254–7264, 16 Jun. 2015. DOI 10.1021/es5056758. Available at: <https://doi.org/10.1021/es5056758>. Accessed on: 20 May 2018.

LUKEN, R. A.; VAN BERKEL, R.; LEUENBERGER, H.; SCHWAGER, P. A 20-year retrospective of the National Cleaner Production Centres programme. **Journal of Cleaner Production**, vol. 112, p. 1165–1174, 20 Jan. 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.07.142. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.142>. Accessed on: 21 Nov. 2019.

LUTHRA, S.; MANGLA, S. K.; XU, L.; DIABAT, A. Using AHP to evaluate barriers in adopting sustainable consumption and production initiatives in a supply chain. **International Journal of Production Economics**, vol. 181, p. 342–349, 1 Nov. 2016. DOI 10.1016/j.ijpe.2016.04.001. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.04.001>. Accessed on: 28 Nov. 2019.

MAES, T.; VAN EETVELDE, G.; DE RAS, E.; BLOCK, C.; PISMAN, A.; VERHOFSTEDDE, B.; VANDENDRIESSCHE, F.; VANDEVELDE, L. Energy management on industrial parks in Flanders. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 15, no. 4, p. 1988–2005, May 2011. DOI 10.1016/j.rser.2010.11.053. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.053>. Accessed on: 27 Dec. 2019.

MAGRINI, A.; ELABRAS VEIGA, L. B. **Ecologia industrial: desafios na perspectiva da economia circular**. 1st ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2018.

MAI-DUC, C. The 1969 Santa Barbara oil spill that changed oil and gas exploration forever. **Los Angeles Times**, Los Angeles, 20 May 2015. Available at: <https://www.latimes.com/local/lanow/la-me-ln-santa-barbara-oil-spill-1969-20150520-htmlstory.html>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

MANNINO, I.; NINKA, E.; TURVANI, M.; CHERTOW, M. The decline of eco-industrial development in Porto Marghera, Italy. **Journal of Cleaner Production**, vol. 100, p. 286–296, 1 Aug. 2015. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.03.054. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.054>. Accessed on: 27 Dec. 2019.

MARWICK, A. The Cultural Revolution of the Long Sixties: Voices of Reaction, Protest, and Permeation. **The International History Review**, vol. 27, no. 4, p. 780–806, Dec. 2005. DOI 10.1080/07075332.2005.9641080. Available at: <https://doi.org/10.1080/07075332.2005.9641080>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

- MASSARD, G.; LEUENBERGER, H.; DONG, T. D. Standards requirements and a roadmap for developing eco-industrial parks in Vietnam. **Journal of Cleaner Production**, vol. 188, p. 80–91, Jul. 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.03.137. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.137>.
- MATHEWS, J. A.; TAN, H. Progress Toward a Circular Economy in China. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 15, no. 3, p. 435–457, Jun. 2011. DOI 10.1111/j.1530-9290.2011.00332.x. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00332.x>. Accessed on: 30 Nov. 2018.
- MATHEWS, J. A.; TANG, Y.; TAN, H. China's move to a Circular Economy as a development strategy. **Asian Business & Management**, vol. 10, no. 4, p. 463–484, 28 Nov. 2011. DOI 10.1057/abm.2011.18. Available at: <https://doi.org/10.1057/abm.2011.18>. Accessed on: 28 Dec. 2019.
- MCALOONE, T. C.; PIGOSSO, D. C. A. **Sustainable Manufacturing**. 1st ed. Cham: Springer International Publishing, 2017(Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management). DOI 10.1007/978-3-319-48514-0. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48514-0>.
- MIRATA, M. Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. **Journal of Cleaner Production**, vol. 12, no. 8–10, p. 967–983, Oct. 2004. DOI 10.1016/j.jclepro.2004.02.031. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.031>. Accessed on: 8 Jan. 2020.
- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 6th ed. São Paulo: Saraiva, 2010.
- MÜHLBACHER, A. C.; KACZYNSKI, A. The Expert Perspective in Treatment of Functional Gastrointestinal Conditions: A Multi-Criteria Decision Analysis Using AHP and BWS. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, vol. 23, no. 3–4, p. 112–125, 1 May 2016. DOI 10.1002/mcda.1562. Available at: <https://doi.org/10.1002/mcda.1562>. Accessed on: 21 Feb. 2020.
- NASCIMENTO, W. da C. **Ecoparque Industrial: Uma Análise de Modelo Conceitual Para o Polo Industrial de Manaus**. 2017. 1–91 f. Universidade Federal do Amazonas, 2017.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Our Common Journey**. 1st ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 1999. DOI 10.17226/9690. Available at: <http://www.nap.edu/catalog/9690>.
- NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G.; RENZULLI, P. A. Industrial symbiosis in the Taranto industrial district: current level, constraints and potential new synergies. **Journal of Cleaner Production**, vol. 122, p. 133–143, 20 May 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.02.056. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.056>. Accessed on: 28 Dec. 2019.
- NOVO NORDISK. Novo Nordisk in Kalundborg. 2020. Available at: <https://www.novonordisk.com/careers/professionals/manufacturing/site-kalundborg.html>. Accessed on: 3 Mar. 2020.
- OH, D.-S.; KIM, K.-B.; JEONG, S.-Y. Eco-Industrial Park Design: a Daedeok Technovalley case study. **Habitat International**, vol. 29, no. 2, p. 269–284, 1 Jun. 2005. DOI 10.1016/j.habitatint.2003.09.006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2003.09.006>. Accessed on: 25 Feb. 2020.
- ORSTED. Asnaes Power Station getting ready to phase out coal. 2019. Available at:

<https://orsted.com/en/Media/Newsroom/News/2019/07/Asnaes-Power-Station-getting-ready-to-phase-out-coal>. Accessed on: 3 Mar. 2020.

PANE HADEN, S. S.; OYLER, J. D.; HUMPHREYS, J. H. Historical, practical, and theoretical perspectives on green management. **Management Decision**, vol. 47, no. 7, p. 1041–1055, 31 Jul. 2009. DOI 10.1108/00251740910978287. Available at: <https://doi.org/10.1108/00251740910978287>. Accessed on: 13 Jan. 2020.

PANYATHANAKUN, V.; TANTAYANON, S.; TINGSABHAT, C.; CHARMONDUSIT, K. Development of eco-industrial estates in Thailand: initiatives in the northern region community-based eco-industrial estate. **Journal of Cleaner Production**, vol. 51, p. 71–79, 15 Jul. 2013. DOI 10.1016/j.jclepro.2012.09.033. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.033>. Accessed on: 21 Nov. 2019.

PAQUIN, R. L.; HOWARD-GRENVILLE, J. The Evolution of Facilitated Industrial Symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 16, no. 1, p. 83–93, 1 Feb. 2012. DOI 10.1111/j.1530-9290.2011.00437.x. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00437.x>. Accessed on: 4 Oct. 2020.

PARK, H.-S.; RENE, E. R.; CHOI, S.-M.; CHIU, A. S. F. Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea—From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. **Journal of Environmental Management**, vol. 87, no. 1, p. 1–13, Apr. 2008. DOI 10.1016/j.jenvman.2006.12.045. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.045>. Accessed on: 28 Dec. 2019.

PARK, H.-S.; WON, J.-Y. Ulsan Eco-industrial Park: Challenges and Opportunities. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 11, no. 3, p. 11–13, 8 Feb. 2008. DOI 10.1162/jiec.2007.1346. Available at: <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1346>.

PARK, J.; DUQUE-HERNÁNDEZ, J.; DÍAZ-POSADA, N. Facilitating Business Collaborations for Industrial Symbiosis: The Pilot Experience of the Sustainable Industrial Network Program in Colombia. **Sustainability**, vol. 10, no. 10, p. 3637, 11 Oct. 2018. DOI 10.3390/su10103637. Available at: <https://doi.org/10.3390/su10103637>.

PARK, J. M.; PARK, J. Y.; PARK, H.-S. A review of the National Eco-Industrial Park Development Program in Korea: progress and achievements in the first phase, 2005–2010. **Journal of Cleaner Production**, vol. 114, p. 33–44, 15 Feb. 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.08.115. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.115>. Accessed on: 28 Dec. 2019.

PARK, J.; PARK, J.; PARK, H. Scaling-Up of Industrial Symbiosis in the Korean National Eco-Industrial Park Program: Examining Its Evolution over the 10 Years between 2005–2014. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 23, no. 1, p. 197–207, 25 Feb. 2019. DOI 10.1111/jiec.12749. Available at: <https://doi.org/10.1111/jiec.12749>. Accessed on: 28 Dec. 2019.

PATINO, C. M.; FERREIRA, J. C. Internal and external validity: can you apply research study results to your patients? **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, vol. 44, no. 3, p. 183–183, May 2018. DOI 10.1590/s1806-37562018000000164. Available at: <https://doi.org/10.1590/s1806-37562018000000164>. Accessed on: 6 Mar. 2020.

PAULIUK, S.; HERTWICH, E. G. Socioeconomic metabolism as paradigm for studying the biophysical basis of human societies. **Ecological Economics**, vol. 119, p. 83–93, 1 Nov. 2015. DOI 10.1016/j.ecolecon.2015.08.012. Available at:

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.08.012>. Accessed on: 29 Feb. 2020.

PCSD - PRESIDENT'S COUNCIL ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Sustainable America: A new consensus for prosperity, opportunity, and a healthy environment for the future**. 1st ed. Washington, D.C.: President's Council on Sustainable Development, 1996. Available at: https://clintonwhitehouse2.archives.gov/PCSD/Publications/TF_Reports/amer-top.html.

PELLENBARG, P. H. Sustainable Business Sites in the Netherlands: A Survey of Policies and Experiences. **Journal of Environmental Planning and Management**, vol. 45, no. 1, p. 59–84, Jan. 2002. DOI 10.1080/09640560120100196. Available at: <https://doi.org/10.1080/09640560120100196>. Accessed on: 5 Mar. 2020.

PEREIRA, G. R.; SANT'ANNA, F. S. P. Uma análise da produção mais limpa no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, vol. 24, p. 17–26, 2012. Available at: http://www.rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/321. Accessed on: 21 Nov. 2019.

PETERSON, C. H.; RICE, S. D.; SHORT, J. W.; ESLER, D.; BODKIN, J. L.; BALLACHEY, B. E.; IRONS, D. B. Long-Term Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill. **Science**, vol. 302, no. 5653, p. 2082–2086, 2003. Available at: <http://www.jstor.org/stable/3835822>.

PETERSON, D. L.; SILSBEE, D. G.; SCHMOLDT, D. L. A case study of resources management planning with multiple objectives and projects. **Environmental Management**, vol. 18, no. 5, p. 729–742, Sep. 1994. DOI 10.1007/BF02394636. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF02394636>. Accessed on: 21 Feb. 2020.

PETROFF, A. Norway's Statoil is changing its name to Equinor. **CNN Money**, London, 15 Mar. 2018. Available at: <https://money.cnn.com/2018/03/15/news/statoil-equinor-oil-norway-name-change/index.html>. Accessed on: 3 Mar. 2020.

PILOUK, S.; KOOTTATEP, T. Environmental performance indicators as the key for eco-industrial parks in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, vol. 156, p. 614–623, 10 Jul. 2017. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.04.076. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.04.076>. Accessed on: 20 May 2018.

POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment: A research framework. **Journal of Cleaner Production**, vol. 143, p. 710–718, 1 Feb. 2017. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.12.055. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

POPHAM, P. Venice: After the flood. **The Independent**, London, 6 Jun. 2006. Available at: <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/venice-after-the-flood-481203.html>.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, vol. 31, no. 89, p. 271–283, Apr. 2017. DOI 10.1590/s0103-40142017.31890021. Available at: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>.

POTTS CARR, A. J. Choctaw Eco-Industrial Park: an ecological approach to industrial land-use planning and design. **Landscape and Urban Planning**, vol. 42, no. 2–4, p. 239–257, 7 Dec. 1998. DOI 10.1016/S0169-2046(98)00090-5. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(98\)00090-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(98)00090-5). Accessed on: 30 Dec. 2019.

REVKIN, A. C. Love Canal and Its Mixed Legacy. **The New York Times**, New York City, 25 Nov. 2013. Available at: <https://www.nytimes.com/2013/11/25/booming/love-canal-and-its-mixed-legacy.html>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

RIBEIRO, P.; FONSECA, F.; NEIVA, C.; BARDI, T.; LOURENÇO, J. M. An integrated approach towards transforming an industrial park into an eco-industrial park: the case of Salaise-Sablons. **Journal of Environmental Planning and Management**, vol. 61, no. 2, p. 195–213, 28 Jan. 2018. DOI 10.1080/09640568.2017.1300576. Available at: <http://doi.org/10.1080/09640568.2017.1300576>. Accessed on: 30 Dec. 2019.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 466, de 21 de outubro de 1981 - Dispõe sobre o zoneamento industrial na região metropolitana do Rio de Janeiro. 1981.

ROBERT, K. W.; PARRIS, T. M.; LEISEROWITZ, A. A. What is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, and Practice. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, vol. 47, no. 3, p. 8–21, Apr. 2005. DOI 10.1080/00139157.2005.10524444. Available at: <http://doi.org/10.1080/00139157.2005.10524444>. Accessed on: 23 Jan. 2020.

ROBERTS, B. H. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study. **Journal of Cleaner Production**, vol. 12, no. 8–10, p. 997–1010, Oct. 2004. DOI 10.1016/j.jclepro.2004.02.037. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.037>. Accessed on: 30 Dec. 2019.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, vol. 1, no. 1, p. 83, 2008. DOI 10.1504/IJSSCI.2008.017590. Available at: <http://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>. Accessed on: 18 Feb. 2020.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, vol. 48, no. 1, p. 9–26, 5 Sep. 1990. DOI 10.1016/0377-2217(90)90057-I. Available at: [http://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](http://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I). Accessed on: 13 Feb. 2020.

SAATY, T. L.; ERGU, D. When is a Decision-Making Method Trustworthy? Criteria for Evaluating Multi-Criteria Decision-Making Methods. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, vol. 14, no. 06, p. 1171–1187, 10 Nov. 2015. DOI 10.1142/S021962201550025X. Available at: <http://doi.org/10.1142/S021962201550025X>. Accessed on: 18 Feb. 2020.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. Boston: Springer US, 2001. vol. 34, (International Series in Operations Research & Management Science). DOI 10.1007/978-1-4615-1665-1. Available at: <http://doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>. Accessed on: 13 Feb. 2020.

SAKR, D.; BAAS, L.; EL-HAGGAR, S.; HUISINGH, D. Critical success and limiting factors for eco-industrial parks: global trends and Egyptian context. **Journal of Cleaner Production**, vol. 19, no. 11, p. 1158–1169, 1 Jul. 2011. DOI 10.1016/j.jclepro.2011.01.001. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.01.001>. Accessed on: 10 Feb. 2020.

SALOMON, V. A. P. Absolute Measurement and Ideal Synthesis on AHP. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, vol. 8, no. 3, p. 538–545, 21 Dec. 2016. DOI 10.13033/ijahp.v8i3.452. Available at: <https://doi.org/10.13033/ijahp.v8i3.452>. Accessed on: 18 Feb. 2020.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. D. P. B. **Metodologia de Pesquisa**. 5th ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SARKIS, J.; DOU, Y. **Green Supply Chain Management**. 1st ed. 1 Edition. | New York : Routledge, 2017.: Routledge, 2017. DOI 10.4324/9781315233000. Available at: <https://doi.org/10.4324/9781315233000>.

SARKIS, J.; ZHU, Q.; LAI, K. An organizational theoretic review of green supply chain management literature. **International Journal of Production Economics**, vol. 130, no. 1, p. 1–15, Mar. 2011. DOI 10.1016/j.ijpe.2010.11.010. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.11.010>. Accessed on: 22 Oct. 2019.

SAUVÉ, S.; BERNARD, S.; SLOAN, P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, vol. 17, p. 48–56, 1 Jan. 2016. DOI 10.1016/j.envdev.2015.09.002. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>. Accessed on: 4 Mar. 2020.

SCHMIDT, K.; AUMANN, I.; HOLLANDER, I.; DAMM, K.; VON DER SCHULENBURG, J.-M. G. Applying the Analytic Hierarchy Process in healthcare research: A systematic literature review and evaluation of reporting. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, vol. 15, no. 1, p. 112, 24 Dec. 2015. DOI 10.1186/s12911-015-0234-7. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12911-015-0234-7>. Accessed on: 21 Feb. 2020.

SCHWARZ, E. J.; STEININGER, K. W. Implementing nature's lesson: The industrial recycling network enhancing regional development. **Journal of Cleaner Production**, vol. 5, no. 1–2, p. 47–56, 1 Jan. 1997. DOI 10.1016/S0959-6526(97)00009-7. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00009-7](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00009-7). Accessed on: 3 Mar. 2020.

SENAI - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Portfólio SENAI CNTL**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 2014.

SHI, H.; CHERTOW, M. R.; SONG, Y. Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China. **Journal of Cleaner Production**, vol. 18, no. 3, p. 191–199, Feb. 2010. DOI 10.1016/j.jclepro.2009.10.002. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.002>. Accessed on: 10 Jan. 2019.

SHI, L.; CHERTOW, M. R. Organizational Boundary Change in Industrial Symbiosis: Revisiting the Guitang Group in China. **Sustainability**, vol. 9, no. 7, p. 1085–2004, 22 Jun. 2017. DOI 10.3390/su9071085. Available at: <https://doi.org/10.3390/su9071085>. Accessed on: 30 Dec. 2019.

SHIBIN, K. T.; GUNASEKARAN, A.; PAPADOPOULOS, T.; DUBEY, R.; SINGH, M.; WAMBA, S. F. Enablers and Barriers of Flexible Green Supply Chain Management: A Total Interpretive Structural Modeling Approach. **Global Journal of Flexible Systems Management**, vol. 17, no. 2, p. 171–188, 15 Jun. 2016. DOI 10.1007/s40171-015-0109-x. Available at: <https://doi.org/10.3390/10.1007/s40171-015-0109-x>. Accessed on: 28 Nov. 2019.

SLAPER, T.; HALL, T. The Triple Bottom Line : What Is It and How Does It Work? **Indiana Business Review**, vol. 86, no. 1, p. 4–8, 2011. Available at: <http://www.ibrc.indiana.edu/ibr/2011/spring/article2.html>. Accessed on: 23 Jan. 2020.

SOUZA, M. T. de; SILVA, M. D. da; CARVALHO, R. de. Integrative review: what is it? How to do it? **Einstein (São Paulo)**, vol. 8, no. 1, p. 102–106, Mar. 2010. DOI 10.1590/s1679-45082010rw1134. Available at: <https://doi.org/10.1590/s1679-45082010rw1134>. Accessed on: 22 Jun. 2018.

- STRADLING, D.; STRADLING, R. Perceptions of the Burning River: Deindustrialization and Cleveland's Cuyahoga River. **Environmental History**, vol. 13, no. 3, p. 515–535, 1 Jul. 2008. DOI 10.1093/envhis/13.3.515. Available at: <https://doi.org/10.1093/envhis/13.3.515>. Accessed on: 5 Mar. 2020.
- TADDEO, R. Local industrial systems towards the eco-industrial parks: the model of the ecologically equipped industrial areas. **Journal of Cleaner Production**, vol. 131, p. 189–197, 10 Sep. 2016. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.05.051. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.051>. Accessed on: 5 Mar. 2020.
- TADDEO, R.; SIMBOLI, A.; MORGANTE, A. Implementing eco-industrial parks in existing clusters. Findings from a historical Italian chemical site. **Journal of Cleaner Production**, vol. 33, p. 22–29, Sep. 2012. DOI 10.1016/j.jclepro.2012.05.011. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.011>. Accessed on: 30 Dec. 2019.
- TAYLOR, A. Bhopal: The World's Worst Industrial Disaster, 30 Years Later - The Atlantic. **The Atlantic**, 2 Dec. 2014. Available at: <https://www.theatlantic.com/photo/2014/12/bhopal-the-worlds-worst-industrial-disaster-30-years-later/100864/>. Accessed on: 4 Mar. 2020.
- TESSITORE, S.; DADDI, T.; IRALDO, F. Eco-Industrial Parks Development and Integrated Management Challenges: Findings from Italy. **Sustainability**, vol. 7, no. 8, p. 10036–10051, 24 Jul. 2015. DOI 10.3390/su70810036. Available at: <https://doi.org/10.3390/su70810036>. Accessed on: 30 Dec. 2019.
- TRAMA, C. P. **Proposta de transformação de um Distrito Industrial em Parque Industrial Ecológico: um estudo de caso em Minas Gerais**. 2016. 1–163 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, vol. 14, no. 3, p. 207–222, Sep. 2003. DOI 10.1111/1467-8551.00375. Available at: <http://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>. Accessed on: 22 Oct. 2019.
- TREVISAN, M.; NASCIMENTO, L. F.; MADRUGA, L. R. da R. G.; NEUTZLING, D. M.; FIGUEIRÓ, P. S.; BOSSLE, M. B. Ecologia Industrial, Simbiose Industrial e Ecoparque Industrial: conhecer para aplicar. **Sistemas & Gestão**, vol. 11, no. 2, p. 204–15, 5 Jul. 2016. DOI 10.20985/1980-5160.2016.v11n2.993. Available at: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n2.993>.
- TRINCARDI, F.; BARBANTI, A.; BASTIANINI, M.; BENETAZZO, A.; CAVALERI, L.; CHIGGIATO, J.; PAPA, A.; POMARO, A.; SCLAVO, M.; TOSI, L.; UMGIESSER, G. The 1966 Flooding of Venice: What Time Taught Us for the Future. **Oceanography**, vol. 29, no. 4, p. 178–186, 1 Dec. 2016. DOI 10.5670/oceanog.2016.87. Available at: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2016.87>. Accessed on: 25 Feb. 2020.
- TUDOR, T.; ADAM, E.; BATES, M. Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): A literature review. **Ecological Economics**, vol. 61, no. 2–3, p. 199–207, 1 Mar. 2007. DOI 10.1016/j.ecolecon.2006.10.010. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.010>. Accessed on: 12 Feb. 2020.
- UNESCO. Sustainable Development. 2020. **Education for sustainable development**. Available at: <https://en.unesco.org/themes/education-sustainable-development/what-is-esd/sd>. Accessed on: 27 Jan. 2020.

UNIDO. **Implementation Handbook for Eco-Industrial Parks**. 1st ed. Geneva: United Nations Industrial Development Organization, 2017. Available at: [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2018-05/UNIDO Eco-Industrial Park Handbook_English.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2018-05/UNIDO_Eco-Industrial_Park_Handbook_English.pdf).

UNITED NATIONS. **Agenda 21**. Rio de Janeiro: United Nations Conference on Environment & Development, 1992a.

UNITED NATIONS. **Our Common Future**. New York City: World Commission on Environment and Development, 1987.

UNITED NATIONS. **Report of the United Nations Conference on Sustainable Development**. Rio de Janeiro: United Nations Conference on Sustainable Development, 2012.

UNITED NATIONS. **Report of the United Nations Conference on the Human Environment**. Stockholm: United Nations Conference on the Human Environment, 1972a.

UNITED NATIONS. **Resolutions adopted on the reports of the Second Committee**. New York: United Nations General Assembly, 1972b.

UNITED NATIONS. **Rio Declaration on Environment and Development**. Rio de Janeiro: Nations Conference on Environment & Development, 1992b.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. New York City: United Nations General Assembly, 2015.

UNITED NATIONS. **UN Millenium Declaration**. New York City: United Nations General Assembly, 2000.

UNITED NATIONS. World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100. 21 Jun. 2017. **Department of Economic and Social Affairs**. Available at: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html>. Accessed on: 10 Feb. 2020.

VALENZUELA-VENEGAS, G.; HENRÍQUEZ-HENRÍQUEZ, F.; BOIX, M.; MONTASTRUC, L.; ARENAS-ARAYA, F.; MIRANDA-PÉREZ, J.; DÍAZ-ALVARADO, F. A. A resilience indicator for Eco-Industrial Parks. **Journal of Cleaner Production**, vol. 174, p. 807–820, 20 Feb. 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.11.025. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.025>. Accessed on: 11 Aug. 2020.

VARGAS, L. G. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. **European Journal of Operational Research**, vol. 48, no. 1, p. 2–8, 5 Sep. 1990. DOI 10.1016/0377-2217(90)90056-H. Available at: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H). Accessed on: 13 Feb. 2020.

VELASQUEZ, M.; HESTER, P. An analysis of multi-criteria decision making methods. **International Journal of Operations Research**, vol. 10, no. 2, p. 56–66, 2013. Available at: http://www.orstw.org.tw/ijor/vol10no2/ijor_vol10_no2_p56_p66.pdf. Accessed on: 19 Feb. 2020.

VELEVA, V.; TODOROVA, S.; LOWITT, P.; ANGUS, N.; NEELY, D. Understanding and addressing business needs and sustainability challenges: lessons from Devens eco-industrial park. **Journal of Cleaner Production**, vol. 87, no. 1, p. 375–384, Jan. 2015. DOI 10.1016/j.jclepro.2014.09.014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.014>. Accessed on: 1 Jan. 2020.

- WANG, Q.; DEUTZ, P.; CHEN, Y. Building institutional capacity for industrial symbiosis development: A case study of an industrial symbiosis coordination network in China. **Journal of Cleaner Production**, vol. 142, p. 1571–1582, 20 Jan. 2017. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.11.146. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.146>. Accessed on: 1 Jan. 2020.
- WEDLEY, W. C. Combining qualitative and quantitative factors—an analytic hierarchy approach. **Socio-Economic Planning Sciences**, vol. 24, no. 1, p. 57–64, 1 Jan. 1990. DOI 10.1016/0038-0121(90)90028-6. Available at: [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(90\)90028-6](https://doi.org/10.1016/0038-0121(90)90028-6). Accessed on: 15 Feb. 2020.
- WOHLIN, C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. 2014. **Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering - EASE '14** [...]. New York, New York, USA: ACM Press, 2014. p. 1–10. DOI 10.1145/2601248.2601268. Available at: <http://doi.org/10.1145/2601248.2601268>. Accessed on: 20 Feb. 2020.
- WOLF, A.; EKLUND, M.; SÖDERSTRÖM, M. Developing integration in a local industrial ecosystem – an explorative approach. **Business Strategy and the Environment**, vol. 16, no. 6, p. 442–455, Sep. 2007. DOI 10.1002/bse.485. Available at: <http://doi.org/10.1002/bse.485>. Accessed on: 1 Jan. 2020.
- WORLD BANK. Decline of Global Extreme Poverty Continues but Has Slowed. **World Bank**, Washington, D.C., 19 Sep. 2018. .
- YABLOKOV, A. V.; NESTERENKO, V. B.; NESTERENKO, A. V. Consequences of the Chernobyl Catastrophe for Public Health and the Environment 23 Years Later. **Annals of the New York Academy of Sciences**, vol. 1181, no. 1, p. 318–326, Nov. 2009. DOI 10.1111/j.1749-6632.2009.04841.x. Available at: <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04841.x>. Accessed on: 4 Mar. 2020.
- YANG, P. P.-J.; LAY, O. B. Applying ecosystem concepts to the planning of industrial areas: a case study of Singapore’s Jurong Island. **Journal of Cleaner Production**, vol. 12, no. 8–10, p. 1011–1023, 1 Oct. 2004. DOI 10.1016/j.jclepro.2004.02.028. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.028>. Accessed on: 20 May 2018.
- YU, C.; DE JONG, M.; DIJKEMA, G. P. J. Process analysis of eco-industrial park development – the case of Tianjin, China. **Journal of Cleaner Production**, vol. 64, p. 464–477, 1 Feb. 2014. DOI 10.1016/j.jclepro.2013.09.002. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.002>. Accessed on: 1 Jan. 2020.
- YU, F.; HAN, F.; CUI, Z. Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. **Journal of Cleaner Production**, vol. 87, no. C, p. 339–347, Jan. 2015. DOI 10.1016/j.jclepro.2014.10.058. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.058>. Accessed on: 4 Jan. 2020.
- YU, X.; YAN, J.; ASSIMAKOPOULOS, D. Case analysis of imitative innovation in Chinese manufacturing SMEs: Products, features, barriers and competences for transition. **International Journal of Information Management**, vol. 35, no. 4, p. 520–525, 1 Aug. 2015. DOI 10.1016/j.ijinfomgt.2015.03.003. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.03.003>. Accessed on: 4 Jul. 2018.
- ZHANG, L.; YUAN, Z.; BI, J.; ZHANG, B.; LIU, B. Eco-industrial parks: national pilot practices in China. **Journal of Cleaner Production**, vol. 18, no. 5, p. 504–509, Mar. 2010.

DOI 10.1016/j.jclepro.2009.11.018. Available at:
<http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.11.018>. Accessed on: 4 Jan. 2020.

ZHU, Q.; COTE, R. P. Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. **Journal of Cleaner Production**, vol. 12, no. 8–10, p. 1025–1035, Oct. 2004. DOI 10.1016/j.jclepro.2004.02.030. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.030>. Accessed on: 4 Jan. 2020.

ZHU, Q.; LOWE, E. A.; WEI, Y.; BARNES, D. Industrial Symbiosis in China: A Case Study of the Guitang Group. **Journal of Industrial Ecology**, vol. 11, no. 1, p. 31–42, 9 Oct. 2008. DOI 10.1162/jiec.2007.929. Available at: <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.929>. Accessed on: 4 Jan. 2020.

APÊNDICE A – Relação das práticas adotadas em ecoparques industriais identificadas na literatura

Quadro 8 – Relação das práticas identificadas na literatura e dos principais autores (continua)

Categories	Práticas	Autores
Técnica (T)	Compartilhamento de materiais e recursos naturais entre os participantes (T1)	(BAI <i>et al.</i> , 2014; BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; BELAUD, Jean Pierre <i>et al.</i> , 2017; BRANSON, 2016; CHERTOW, 2000, 2008; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; EHRENFELD; GERTLER, 1997; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; ELMASSAH, 2018; GIBBS; DEUTZ, 2005, 2007; HEERES; VERMEULEN; DE WALLE, 2004; LIU <i>et al.</i> , 2018; LOWE, 1997; MAES <i>et al.</i> , 2011; MANNINO <i>et al.</i> , 2015; MATHEWS; TAN, 2011; NOTARNICOLA; TASSIELLI; RENZULLI, 2016; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; VELEVA <i>et al.</i> , 2015; WOLF; EKLUND; SÖDERSTRÖM, 2007; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015; ZHU; COTE, 2004)
	Gestão compartilhada de infraestrutura e serviços (T2)	(BRANSON, 2016; CHERTOW, 2000, 2008; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; EHRENFELD; GERTLER, 1997; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; ELMASSAH, 2018; GIBBS; DEUTZ, 2007; HEERES; VERMEULEN; DE WALLE, 2004; LIU <i>et al.</i> , 2018; LOWE, 1997; MAES <i>et al.</i> , 2011; MANNINO <i>et al.</i> , 2015; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018; ROBERTS, 2004; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; TESSITORE; DADDI; IRALDO, 2015; VELEVA <i>et al.</i> , 2015; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015)
	Uso de boas práticas ambientais (T3)	(BAI <i>et al.</i> , 2014; BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; BRANSON, 2016; CHERTOW, 2000, 2008; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; DEUTZ; GIBBS, 2004; EHRENFELD; GERTLER, 1997; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; ELMASSAH, 2018; GIBBS; DEUTZ, 2005, 2007; LIU <i>et al.</i> , 2018; LOWE, 1997; MATHEWS; TAN, 2011; NOTARNICOLA; TASSIELLI; RENZULLI, 2016; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015; ZHU; COTE, 2004)

Quadro 8 – Relação das práticas identificadas na literatura e dos principais autores (continuação)

Categories	Práticas	Autores
Política e Governamental (P)	Apoio governamental (P1)	(BAI <i>et al.</i> , 2014; BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; BELAUD, Jean Pierre <i>et al.</i> , 2017; CHERTOW, 2008; DEUTZ; GIBBS, 2004; GIBBS; DEUTZ, 2005, 2007; HEERES; VERMEULEN; DE WALLE, 2004; LIU <i>et al.</i> , 2018; MAES <i>et al.</i> , 2011; MATHEWS; TAN, 2011; MATHEWS; TANG; TAN, 2011; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; ROBERTS, 2004; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; TESSITORE; DADDI; IRALDO, 2015; VELEVA <i>et al.</i> , 2015; WANG; DEUTZ; CHEN, 2017; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015; ZHANG <i>et al.</i> , 2010; ZHU; COTE, 2004)
	Gestão institucionalizada do parque (P2)	(BAI <i>et al.</i> , 2014; BEHERA <i>et al.</i> , 2012; DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; LIU <i>et al.</i> , 2018; MATHEWS; TAN, 2011; MATHEWS; TANG; TAN, 2011; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; TESSITORE; DADDI; IRALDO, 2015; VELEVA <i>et al.</i> , 2015; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015; ZHANG <i>et al.</i> , 2010)
	Legislação ambiental favorável (P3)	(BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; BRANSON, 2016; CHERTOW, 2008; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; EHRENFELD; GERTLER, 1997; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; ELMASSAH, 2018; GIBBS; DEUTZ, 2007, 2005; LEBLANC <i>et al.</i> , 2016; LIU <i>et al.</i> , 2018; LOWE, 1997; MAES <i>et al.</i> , 2011; MANNINO <i>et al.</i> , 2015; MATHEWS; TAN, 2011; MATHEWS; TANG; TAN, 2011; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; TESSITORE; DADDI; IRALDO, 2015; VELEVA <i>et al.</i> , 2015; WANG; DEUTZ; CHEN, 2017; WOLF; EKLUND; SÖDERSTRÖM, 2007; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Xiubao; YAN; ASSIMAKOPOULOS, 2015; ZHANG <i>et al.</i> , 2010)
	Disponibilização de incentivos fiscais (P4)	(BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BRANSON, 2016; CHERTOW, 2008; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; DEUTZ; GIBBS, 2004; EHRENFELD; GERTLER, 1997; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; ELMASSAH, 2018; GIBBS; DEUTZ, 2005; HEERES; VERMEULEN; DE WALLE, 2004; LIU <i>et al.</i> , 2018; MAES <i>et al.</i> , 2011; MATHEWS; TAN, 2011; MATHEWS; TANG; TAN, 2011; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; TESSITORE; DADDI; IRALDO, 2015; VELEVA <i>et al.</i> , 2015; WANG; DEUTZ; CHEN, 2017; WOLF; EKLUND; SÖDERSTRÖM, 2007; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015; ZHANG <i>et al.</i> , 2010)

Quadro 8 – Relação das práticas identificadas na literatura e dos principais autores (continuação)

Categorias	Práticas	Autores
Econômica (E)	Viabilidade econômica da simbiose (E1)	(BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BRANSON, 2016; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; EHRENFELD; GERTLER, 1997; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; GIBBS; DEUTZ, 2005; HEERES; VERMEULEN; DE WALLE, 2004; LEBLANC <i>et al.</i> , 2016; MAES <i>et al.</i> , 2011; MATHEWS; TAN, 2011; MATHEWS; TANG; TAN, 2011; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; ROBERTS, 2004; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; TESSITORE; DADDI; IRALDO, 2015; WANG; DEUTZ; CHEN, 2017; WOLF; EKLUND; SÖDERSTRÖM, 2007; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015; ZHU <i>et al.</i> , 2008)
	Redução do custo de operação (E2)	(BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean Pierre <i>et al.</i> , 2017; BRANSON, 2016; CHERTOW, 2000; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; EHRENFELD; GERTLER, 1997; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; GIBBS; DEUTZ, 2005, 2007; HEERES; VERMEULEN; DE WALLE, 2004; MAES <i>et al.</i> , 2011; MANNINO <i>et al.</i> , 2015; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; ROBERTS, 2004; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; VELEVA <i>et al.</i> , 2015; WOLF; EKLUND; SÖDERSTRÖM, 2007; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015; ZHU <i>et al.</i> , 2008; ZHU; COTE, 2004)
Informacional (I)	Sistema de coleta de dados para estudos e monitoramento (I1)	(BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; BELAUD, Jean Pierre <i>et al.</i> , 2017; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; ELMASSAH, 2018; LIU <i>et al.</i> , 2018; LOWE, 1997; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; WOLF; EKLUND; SÖDERSTRÖM, 2007; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; ZHANG <i>et al.</i> , 2010; ZHU; COTE, 2004)
	Disponibilização de informação para <i>stakeholders</i> (I2)	(BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; BELAUD, Jean Pierre <i>et al.</i> , 2017; DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; LIU <i>et al.</i> , 2018; LOWE, 1997; MANNINO <i>et al.</i> , 2015; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; TESSITORE; DADDI; IRALDO, 2015; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014)

Quadro 8 – Relação das práticas identificadas na literatura e dos principais autores (continuação)

Categories	Práticas	Autores
Organizacional (O)	Relacionamento com a comunidade (O1)	(BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; BELAUD, Jean Pierre <i>et al.</i> , 2017; BRANSON, 2016; DEUTZ; GIBBS, 2004; EHRENFELD; GERTLER, 1997; GIBBS; DEUTZ, 2005, 2007; HEERES; VERMEULEN; DE WALLE, 2004; LIU <i>et al.</i> , 2018; LOWE, 1997; MANNINO <i>et al.</i> , 2015; MATHEWS; TAN, 2011; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; POTTS CARR, 1998; ROBERTS, 2004; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012)
	Confiança entre os parceiros e compatibilidade de visão (O2)	(BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; BELAUD, Jean Pierre <i>et al.</i> , 2017; BRANSON, 2016; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; EHRENFELD; GERTLER, 1997; GIBBS; DEUTZ, 2007; HEERES; VERMEULEN; DE WALLE, 2004; LOWE, 1997; MAES <i>et al.</i> , 2011; MANNINO <i>et al.</i> , 2015; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018; ROBERTS, 2004; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; TESSITORE; DADDI; IRALDO, 2015; VELEVA <i>et al.</i> , 2015; WANG; DEUTZ; CHEN, 2017; WOLF; EKLUND; SÖDERSTRÖM, 2007; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015; ZHU; COTE, 2004)
	Multifuncionalidade do parque (O3)	(CHERTOW, 2000; DADDI; TESSITORE; TESTA, 2015; MAES <i>et al.</i> , 2011; POTTS CARR, 1998; RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; SHI, Lin; CHERTOW, 2017; WANG; DEUTZ; CHEN, 2017; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; ZHU <i>et al.</i> , 2008; ZHU; COTE, 2004)
Capacitação e educação (C)	Parcerias com Instituições e Universidades (C1)	(BAI <i>et al.</i> , 2014; BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; BELAUD, Jean Pierre <i>et al.</i> , 2017; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; LIU <i>et al.</i> , 2018; LOWE, 1997; MATHEWS; TAN, 2011; MATHEWS; TANG; TAN, 2011; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; WANG; DEUTZ; CHEN, 2017; WOLF; EKLUND; SÖDERSTRÖM, 2007; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014)
	Treinamento e disseminação de conceitos entre os parceiros (C2)	(BEHERA <i>et al.</i> , 2012; BELAUD, Jean-Pierre <i>et al.</i> , 2019; DEUTZ; GIBBS, 2004; ELABRAS VEIGA; MAGRINI, 2009; GIBBS; DEUTZ, 2005, 2007; LIU <i>et al.</i> , 2018; LOWE, 1997; PARK, Hung-Suck <i>et al.</i> , 2008; PARK, Jun Mo; PARK; PARK, 2016; PARK, Jooyoung; PARK; PARK, 2019; POTTS CARR, 1998; RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018; ROBERTS, 2004; SHI, Han; CHERTOW; SONG, 2010; TADDEO; SIMBOLI; MORGANTE, 2012; VELEVA <i>et al.</i> , 2015; WANG; DEUTZ; CHEN, 2017; WOLF; EKLUND; SÖDERSTRÖM, 2007; YU, Chang; DE JONG; DIJKEMA, 2014; YU, Fei; HAN; CUI, 2015; ZHU; COTE, 2004)

Fonte: Autor.

APÊNDICE B – Matrizes agregadas de julgamentos

Tabela 22 – Matriz agregada de julgamentos para categorias das práticas identificadas

	Técnico	Político	Econômico	Informacional	Organizacional	Capacitação
Técnico	1,00000	1,22109	1,04753	2,15793	0,78178	1,59804
Político	0,81894	1,00000	0,80606	1,72600	0,59276	1,22109
Econômico	0,95462	1,24060	1,00000	1,99795	1,42341	1,86421
Informacional	0,46341	0,57937	0,50051	1,00000	0,45983	0,78178
Organizacional	1,27914	1,68702	0,70254	2,17470	1,00000	1,76721
Capacitação	0,62576	0,81894	0,53642	1,27914	0,56586	1,00000

Fonte: Autor.

Tabela 23 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Técnico

	Compartilhamento de materiais e recursos naturais	Gestão compartilhada de infraestrutura e serviços	Uso de boas práticas ambientais
Compartilhamento de materiais e recursos naturais	1,00	1,28	1,48
Gestão compartilhada de infraestrutura e serviços	0,78	1,00	1,07
Uso de boas práticas ambientais	0,68	0,93	1,00

Fonte: Autor.

Tabela 24 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Político

	Apoio governamental	Gestão institucionalizada	Legislação ambiental favorável	Disponibilização de incentivos fiscal
Apoio governamental	1,00	0,61	0,86	1,00
Gestão institucionalizada	1,65	1,00	1,34	1,05
Legislação ambiental favorável	1,16	0,75	1,00	0,86
Disponibilização de incentivos fiscais	1,00	0,95	1,16	1,00

Fonte: Autor.

Tabela 25 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Econômico

	Viabilidade econômica da simbiose	Redução do custo de operação
Viabilidade econômica da simbiose	1,00	1,81
Redução do custo de operação	0,55	1,00

Fonte: Autor.

Tabela 26 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Informacional

	Estabelecimento de um sistema de coleta de dados	Disponibilização da informação
Estabelecimento de um sistema de coleta de dados	1,00	1,03
Disponibilização da informação	0,97	1,00

Fonte: Autor.

Tabela 27 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Organizacional

	Relacionamento com a comunidade	Confiança entre os parceiros e compatibilidade de visão	Multifuncionalidade do parque industrial
Relacionamento com a comunidade	1,00	0,47	1,39
Confiança entre os parceiros e compatibilidade de visão	2,12	1,00	3,07
Multifuncionalidade do parque industrial	0,72	0,33	1,00

Fonte: Autor.

Tabela 28 – Matriz agregada de julgamentos para o critério Capacitação

	Parcerias com Instituições e Universidades	Treinamento e disseminação de conceitos
Parcerias com Instituições e Universidades	1,00	1,24
Treinamento e disseminação de conceitos	0,81	1,00

Fonte: Autor