

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
ANDRÉ GUSTAVO DE ANDRADE MONTEIRO

**CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE CIRCULARIDADE DA
INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA DE 1ª E 2ª GERAÇÃO**

São Bernardo do Campo

2022

ANDRÉ GUSTAVO DE ANDRADE MONTEIRO

**CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE CIRCULARIDADE DA
INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA DE 1ª E 2ª GERAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Centro
Universitário FEI, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Mecânica. Orientado pela
Prof.Dra. Gabriela Scur.

São Bernardo do Campo

2022

de Andrade Monteiro, André Monteiro.
CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE
CIRCULARIDADE DA INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA DE 1ª E
2ª GERAÇÃO / André Monteiro de Andrade Monteiro. São Bernardo do
Campo, 2022.

101 p. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Gabriela Scur.

1. Economia Circular. 2. Química. 3. Indicadores. 4. Modelos. 5.
Análise Componente Principal. I. Scur, Gabriela, orient. II. Título.

Aluno(a): André Gustavo de Andrade Monteiro

Matrícula: 220301-6

Título do Trabalho: Construção e avaliação do índice de circularidade da indústria química brasileira de 1ª e 2ª geração

Área de Concentração: Produção

Orientador(a): Profª Drª Gabriela Scur Almudi

Data da realização da defesa: 29/08/2022

ORIGINAL ASSINADA

Avaliação da Banca Examinadora:

O aluno irá realizar a análise de resíduos e incorporará na versão final. Se compromete a alinhar o texto do objetivo geral e corrigirá a seta da figura do modelo.

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO

REPROVADO

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Gabriela Scur Almudi

Profª Drª Maria Célia de Oliveira

Profª Drª Adriana Marotti de Mello

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco

Dedico esse trabalho à minha família, à minha esposa Andréia, ao meu filho Pedro que caminharam e saborearam comigo todas as experiências que o mestrado nos ofertou.

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, pelas oportunidades concedidas na vida, pelas pessoas que conheci durante toda a minha jornada que me fizeram e fazem ser uma pessoa melhor.

A minha esposa Andréia, minha companheira, amor da minha vida, em vir junto comigo em mais uma caminhada. Com sua sabedoria, força e amor, supriu a minha ausência e mesmo nos momentos mais difíceis, sempre encontrou palavras sábias que não me fizeram desistir e nem duvidar de mim mesmo. Agradeço, por ter me aceito e poder fazer parte da sua vida.

Ao meu filho Pedro, meu parceiro de aventuras, agradeço a companhia nos almoços de sexta-feira, onde debatemos sobre a semana e o quanto isso me fez refletir que a vida pode ser mais simples que pensamos. Você é o maior presente da minha vida.

Ao meu pai Ronaldo (*in memoriam*), à minha mãe Célia pelo exemplo, dedicação e filosofia de que o sucesso é construído pela ética, pela dignidade, educação e trabalho. Ao meu irmão Felipe, distante geograficamente, mas juntos no coração e conectados pelos mesmos ideais.

À Cabot do Brasil, em nome do seu Gerente Geral, Max Araújo, por permitir que esse projeto fosse adiante, pelo incentivo, pelo suporte para que eu pudesse fazer o melhor.

Ao Professor Nuncio Perrella que em uma conversa informal me incentivou a buscar um sonho não realizado de fazer um mestrado.

À Profa. Dra. Gabriela Scur, minha gratidão por ter acreditado em mim e pela parceria no desenvolvimento do projeto. Agradeço o direcionamento, a paciência, o conhecimento compartilhado e contribuições precisas ao desenvolvimento do trabalho. Para mim, foi uma honra ter sido o seu orientando.

Às professoras Dra. Adriana Marotti de Mello e Maria Célia de Oliveira pela disponibilidade e generosidade em compartilhar seus conhecimentos participando da banca de qualificação e da banca de defesa. As contribuições foram fundamentais para a construção desse trabalho.

Aos meus amigos de jornada Luiz Barberini e Ricardo Carlos, pelo companheirismo, pelas trocas de conhecimento, pelos cafés, pelas noites e finais de semana dedicados aos estudos. Aos demais amigos de classe, muito obrigado.

Aos professores de FEI por todo o esforço, dedicação e competência em compartilhar todo o conhecimento possível, estimulando a discussão e busca pelo conhecimento.

Por fim, agradeço ao Centro Universitário FEI, por toda infraestrutura e disponibilidade de recursos essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

“Um sonho não se torna realidade a partir de
mágica. Você precisa de suor, determinação e
trabalho duro”

Colin Powell

RESUMO

A química circular possui grande relevância para a evolução da economia circular. Seus princípios estão baseados na redução do consumo de matérias-primas e insumos por meio de uma menor complexidade dos processos produtivos, maior reutilização de solventes e aditivos, utilizando resíduos como matéria prima. O setor químico tem impacto direto na geração de resíduos, consumo de energia e lançamento de gases efeito estufa. No entanto, a migração para modelos de negócio circulares depende de fatores estratégicos e políticos para as organizações consigam implementar inovações e melhorias que as levem para outro patamar do ponto de vista de circularidade. Dentro desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo calcular um indicador de circularidade (CEI) que permitiu agregar indicadores de geração de resíduo, emissões atmosféricas e consumo de energia do setor químico brasileiro, segmentado para as indústrias de primeira e segunda geração. Foi utilizado a análise de componentes principais como parte de metodologia para o cálculo do índice. O trabalho partiu da construção de um modelo teórico suportados por estratégias de circularidade e indicadores. Os dados foram fornecidos pelas plataformas digitais do IBAMA e IBGE. Além do cálculo, as variações do indicador foram estudadas tendo como referência fatores estratégicos e políticos para identificar quais fatores seriam mais relevantes para o caso brasileiro a nível das organizações e a nível estadual. Foi utilizado o período de 2017 a 2019 como base para a pesquisa. Como resultado do trabalho, obtiveram-se dois modelos de regressão. O primeiro identificando a receita líquida de vendas, investimentos em melhorias e pessoas como fatores estratégicos relevantes e o segundo identificando o potencial de crescimento dos estados, assim como seus investimentos em sustentabilidade social/ambiental além das ações em inovação como fatores relevantes para as variações do CEI. O estudo concluiu que o segmento da primeira e segunda geração tem espaço para avançar na circularidade pelas oscilações do CEI ao longo do período estudado. Outra conclusão é que os estados que possuem maior competitividade não possuem os valores CEI mais favoráveis. Os modelos conseguiram explicar 41% e 61% das variações do CEI mostrando que ainda existe potencial de pesquisa para um maior entendimento de como a indústria química está se adaptando para ambientes de negócio circulares.

Palavras-chave: Economia Circular, Química, Indicadores, Modelos, Análise Componente Principal, Regressão Linear.

ABSTRACT

Circular chemistry has great relevance for the evolution of the circular economy. Its principles are based on reducing the consumption of raw materials and additives through a lower complexity of production processes, greater reuse of solvents and additives, using waste as raw material. The chemical sector has a direct impact on waste generation, energy consumption and greenhouse gas release. However, the migration to circular business models depends on economic and political factors for organizations to be able to implement innovations and improvements that take them to another level from the point of view of circularity. Within this context, the present study aimed to calculate a circularity indicator (CEI) that allowed the aggregation of indicators of waste generation, atmospheric emissions and energy consumption of the Brazilian chemical sector, segmented to the first- and second-generation industries. Principal component analysis was used as part of a methodology for index calculation. The work started from the construction of a theoretical model supported by circularity and indicators. The data were provided by the digital platforms of IBAMA and IBGE. In addition to the calculation, the variations of the indicator were studied using as reference economic and political triggers to identify which factors would be more relevant for the Brazilian case at the level of organizations and at the state level. The period from 2017 to 2019 was used as the basis for the research. As a function of the work, two regression models were obtained. The first identifying net sales revenue, investments in improvements and people as relevant economic factors and the second identifying the growth potential of states, as well as their investments in social/environmental sustainability in addition to actions in innovation as relevant factors for its variations. The study concluded that the segment of the first and second generation has room to advance in circularity by CEI oscillations throughout the studied period. Another conclusion is that the states that have greater competitiveness do not have the most favorable CEI values. The models were able to explain 41% and 61% of CEI variations showing that there is still research potential for a better understanding of how the chemical industry is moving to circular business environments.

Keywords: Circular Economy, Chemistry, Indicators, Models, Principal Component Analysis, Linear Regression.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Estratégias de Circularidade 9R	18
Figura 1 - Estrutura para escolha dos indicadores para definição do CEI	21
Quadro 2 - Estratégias comuns para os modelos de circularidade	23
Quadro 3 – Sumário das fontes dos modelos utilizados na construção do CEI.....	25
Figura 2 - Modelo teórico base para o cálculo do CEI e relação com modelo de circularidade..	26
Quadro 4 - Fatores Disparadores/Barreiras para sucesso dos Modelos de circularidade.....	27
Quadro 5 - Grupo de produtos químicos, segundo Abiquim.....	30
Quadro 6 - Correlação Geração x Tipo de produto.....	32
Figura 3 - Modelo 1: Influência dos disparadores estratégicos no CEI por CNAE.....	34
Figura 4 - Modelo 2: Influência disparadores institucionais no CEI por estados.....	34
Figura 5 - Passos para a construção do indicador composto.....	35
Quadro 7 – Relação do indicador com o modelo de circularidade.....	36
Figura 6 - Etapas para seleção de dados.....	37
Quadro 8 - Fontes dos dados utilizados para os indicadores.....	38
Quadro 9 - Atributos das fontes de dados.....	38
Figura 7 – Modelo de segregação de amostras CNAE x CNPJ.....	39
Figura 8 - Agrupamento das amostras por CNAE.....	39
Figura 9 - Fonte de dados integrados no modelo do CEI.....	41
Quadro 10 - Tabelas resultantes para modelagem do CEI.....	42
Quadro 11 - Resultados da aplicação da Análise Componente Principal.....	45
Quadro 12 – Quadro de desenvolvimento peso indicadores.....	45
Quadro 13 – Quadro das variáveis normalizadas.....	46
Quadro 14 - Quadro explicativo peso fatores.....	46

Quadro 15 – Sequência de análises PCA.....	48
Figura 10 - Etapas para a construção das variáveis Independentes.....	49
Quadro 16 - Fonte de Dados das Variáveis Independentes.....	49
Quadro 17 - Atributos das variáveis independentes.....	50
Quadro 18 - Tipos de regressão de dados em painel	51
Figura 11 - Evolução CEI por CNAE 2015-2019	52
Figura 12 – Evolução da geração de resíduo de 2015 a 2019 para as indústrias químicas.....	53
Figura 13 – Evolução da reciclagem de resíduo de 2015 a 2019 para as indústrias químicas.....	54
Figura 14 – Evolução do consumo de energia de 2015 a 2019 para as indústrias químicas.....	55
Figura 15 – Evolução da emissão atmosférica de 2015-2019 para as indústrias químicas.....	55
Figura 16 – Evolução do Indicador Emissão (CEI).....	56
Figura 17 – Evolução do Indicador Resíduo (CEI).....	57
Figura 18 – Evolução do Indicador Energia (CEI).....	58
Figura 19 – Evolução do CEI por estado 2015-2019.....	59
Figura 20 – Evolução da geração resíduo por estado de 2015 a 2019.....	59
Figura 21 – Evolução da reciclagem resíduo por estado de 2015 a 2019	60
Figura 22 - Evolução consumo energia por estado de 2015 a 2019.....	61
Figura 23 – Evolução das emissões atmosféricas por estado de 2015 a 2019.....	62
Figura 24 - Matriz Correlação dos fatores estratégicos.....	64
Quadro 19 - Quadro Resumo dos resultados análise dos fatores estratégicos	67
Figura 25 - Matriz Correlação dos fatores institucionais	69
Quadro 20 - Quadro Resumo dos resultados da análise dos fatores institucionais.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – CEI para as indústrias químicas primeira e segunda geração.....	56
Tabela 2 – Comparação dos modelos regressão dados em painel.....	65
Tabela 3 – Resultados das Regressões: Dados empilhados (Pooled).....	65
Tabela 4 – Resultados das Regressões: Efeitos fixos.....	66
Tabela 5 – Resultados das Regressões: Efeitos aleatórios.....	66
Tabela 6 – Comparação modelos regressão dados em painel por estado.....	70
Tabela 7 – Resultados das regressões por estado: Modelo pooled.....	70
Tabela 8 – Resultados das regressões por estado : Modelo Efeitos Fixos.....	71
Tabela 9 – Resultados das regressões por estado : Modelo Efeitos Aleatórios.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – CEI para as indústrias químicas primeira e segunda geração.....	57
Tabela 2 – Comparação dos modelos regressão dados em painel.....	66
Tabela 3 – Resultados das Regressões: Dados empilhados (Pooled).....	66
Tabela 4 – Resultados das Regressões: Efeitos fixos.....	67
Tabela 5 – Resultados das Regressões: Efeitos aleatórios.....	67
Tabela 6 – Comparação modelos regressão dados em painel por estado.....	71
Tabela 7 – Resultados das regressões por estado: Modelo pooled.....	71
Tabela 8 – Resultados das regressões por estado : Modelo Efeitos Fixos.....	72
Tabela 9 – Resultados das regressões por estado : Modelo Efeitos Aleatórios.....	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO DA PESQUISA.....	14
	1.1.1 Objetivos Específicos.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	ECONOMIA CIRULAR E SUSTENTABILIDADE.....	15
2.2	QUÍMICA E ECONOMIA CIRCULAR	16
2.3	MODELO DE IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR E QUÍMICA	17
2.4	INDICADORES PARA MEDIR A CIRCULARILDADE.....	20
2.5	FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO CEI	25
2.6	DISPARADORES E BARREIRAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE MODELO ECONOMIA CIRCULAR	27
2.7	VISÃO GERAL DA INDUSTRIA QUIMICA	29
3	METODOLOGIA	33
3.1	CONSTRUÇÃO DA VARIÁVEL DEPENDENTE	35
3.5	CONSTRUÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	CEI	52
4.2	IDENTIFICAÇÃO DOS EFEITOS DOS FATORES DETERMINANTES PARA PERFORMANCE DO CEI.....	63
4.2.1	Fatores Estratégicos e CEI	63
4.2.2	Fatores institucionais e CEI	68
5	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICE A	82

1 INTRODUÇÃO

A comunidade internacional tem procurado caminhos para a transição de uma economia linear para um conceito de economia circular que é baseada na recuperação e valorização do resíduo com a sua reinserção na cadeia de produção (ELIA et al., 2017). O retorno de resíduos no processo produtivo caracteriza a economia circular como um processo restaurador e regenerativo (JABBOUR et al., 2019). A premissa da restauração e regeneração traz necessidades de alterações na estrutura de projeto dos produtos e processos de produção (ESPOSITO et al., 2018; HOPKISON et al., 2018). Consequentemente, a circularização traz uma maior complexidade de gerenciamento de materiais pelas estruturas complexas de produção de um produto de uso final pelo consumidor (JABBOUR et al., 2019).

Dentro da tipologia de produtos, pode-se destacar os químicos utilizados na fabricação de substâncias para produzir sementes, aumentar rendimento de processos produtivos, prevenir ou curar doenças e possibilitar o conforto no dia a dia das pessoas (LOZANO et al., 2014). No entanto, os riscos à saúde e meio ambiente pelo uso dos produtos químicos têm sido reconhecidos ao longo dos anos (LOZANO et al., 2014). Dessa maneira, os países têm adotado medidas para o gerenciamento dos riscos através do Sistema Harmonizado Global de Rotulagem dos Produtos Químicos (GHS) adotado em 2006; ações como o REACH (Registro, avaliação, autorização e restrição de produtos químicos) para regular os produtos químicos (LOZANO et al., 2013).

A química verde foi desenvolvida como uma alternativa para redução ou eliminação do uso de matérias primas, produtos, subprodutos, reagentes, solventes que possam causar algum perigo à saúde humana ou ao meio ambiente (ANASTAS; BREEN, 1997). A química verde é baseada na prevenção da eliminação do resíduo antes da sua geração e o seu risco de um processo ou produto ao meio ambiente (ANASTAS; BREEN, 1997). A química verde, segundo Mohan e Katakajwala (2020), permite a otimização dos processos para promover práticas menos agressivas ao meio ambiente, porém dentro de modelo linear. Em contrapartida, para um modelo circular, a necessidade de recirculação é uma componente essencial para evitar o desgaste dos recursos naturais e ao mesmo tempo reduzir os impactos ao meio ambiente (MOHAN; KATAKOJWALA, 2020). Portanto, é necessário, também limitar o uso de substâncias perigosas à saúde humana e ao meio ambiente para permitir a circularidade e a partir dessa condição. Silvestri et al. (2021) afirma que a indústria química lida com o desafio de propor processos mais verdes por meio de consumo mais eficiente de recursos e eliminando a geração de resíduos. Para responder a essa necessidade, Keijer et al. (2019) traz a circularidade

para a química através do conceito de química circular e a classificando como um elemento importante para dar consistência ao modelo de economia circular, uma vez tem o papel de desenvolver produtos e tecnologias sustentáveis que permitam a circularidade dentro da cadeia de valor.

Para implementação da circularidade, a literatura tem trazido diversos trabalhos com propostas de modelo com o foco na transição para economia circular e como ponto comum os conceitos de repensar, reduzir, reciclar, recuperar (VINANTE et al., 2021; FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2015; TARANIC et al., 2016; POTTING et al., 2017; MOHAN; KATAKOJWALA, 2020). Trazendo para o segmento químico, Mohan e Katalowala (2020), e Chen et al. (2020) trazem a prática do 5R (Reduzir, Reutilizar, Repropor, Reciclar e Recuperar) para um contexto de matéria prima, reutilização de resíduos, redução de consumo de energia.

No entanto, Shcaubroeck et al. (2019) argumentam que muita coisa tem sido feita para suportar os modelos, mas a falta de consenso sobre uma metodologia para avaliação da circularidade dificulta análises consistentes da evolução do processo de migração para modelos de economia circular e com isso a evolução de diversos setores industriais na migração de seus modelos de economia circular não é clara. Por esse motivo, Moraga et al. (2019) defendem a necessidade de métodos para medir a evolução da economia circular e que, para isso, indicadores são úteis nas escalas de implementação e como ferramenta para avaliar a avaliar o grau de circularidade. Mohan e Katalowala (2020) conecta os modelos circularidade à gestão das emissões como parte dos fatores disparadores da química circular e a importância de indicadores de circularidade para medir a evolução da transição das indústrias químicas para um modelo circular.

A academia tem trabalhado no desenvolvimento de ferramentas para selecionar indicadores apropriados para avaliar o progresso da economia circular (ELIA et al., 2017; EASAC, 2016; GENG et al., 2012). BOURS et al., (2017) e MCELROY et al., (2015) publicaram trabalhos propondo métricas para a química verde. Para a indústria química especificamente, Ruiz-Mercado et al. (2012) propõem uma série de indicadores que conseguem refletir a complexidade dos processos produtivos por meio de fluxos de massa, energia que sejam facilmente comunicados e analisados. Arbolino et al. (2020) e Li e Su (2012) deram um passo a mais ao desenvolveram um Índice Circularidade (CEI) para a indústria química partindo de indicadores isoladamente e escolhidos a partir de estudos disponíveis (ELIA et al., 2017; EASAC, 2016; GENG et al., 2012). Os indicadores estabelecidos para a composição do CEI

foram baseados na gestão das perdas expressas como resíduos, gestão das emissões gasosas e gestão da energia.

Esses indicadores são apresentados de uma forma conhecida como desagregada. Dessa maneira, para que em conjunto representem o desempenho da circularidade das indústrias químicas, Arbolino et al. (2019) utiliza uma técnica de agregação e distribuição de pesos entre eles por meio de uma análise multivariada conhecida como Análise de Componente Principal.

Além das componentes técnicas dos modelos de circularidade, uma dimensão importante para o processo de migração para um ambiente de economia circular são os resultados financeiros. Segundo Shahbazi et al. (2016) negócios que não possuem lucratividade ou negócios pouco competitivos estão sujeitas a restrições de orçamento e, portanto, reduz a sua proatividade em implementar investimentos que priorizem as questões ambientais. De fato, Prieto-Sandoval et al. (2018) conclui em seu trabalho que a transição para um modelo de economia circular só é possível por meio de grandes investimentos em equipamentos, processos de produção, matéria prima.

Outro aspecto são as questões regulatórias que são expressas por ações do poder público. As políticas públicas por meio regulações ambientais, políticas fiscais, capacitação podem ser um limitante ou não para as empresas investirem na transição de modelos lineares para modelos de economia circular (de JESUS et al., 2018).

Ao levar em consideração a multidimensionalidade dos modelos de economia circular, o presente trabalho visa responder à pergunta: como a performance de circularidade do setor químico brasileiro dentro do segmento das indústrias de primeira e segunda geração, expressa por meio de um índice, pode ser influenciada por fatores estratégicos e políticos?

Para responder à pergunta, o objetivo desse trabalho é calcular um indicador de circularidade que consiga capturar as contribuições da geração de resíduo, consumo de energia elétrica e emissões de gases baseado no trabalho de Arbolino et al. (2020) para o setor químico brasileiro. Em seguida, avaliar se os fatores estratégicos e políticos conseguem explicar as variações do indicador .

O estudo teve um caráter quantitativo por utilizar de dados relacionados à indústria química e a circularidade como fluxo de material, consumo de energia, geração de resíduos, emissões assim como informações econômicas do segmento químico .

O índice de circularidade foi utilizado como variável dependente e correlacionado com fatores estratégicos e políticos através de uma regressão de dados em painel (GUJARATI; PORTER, 2011).

Espera-se com esse trabalho, dar uma visão para acadêmicos, práticos do mercado, estudantes de como integrar os modelos individuais a um modelo mais abrangente com todas as visões integradas permitindo aos tomadores de decisão, acadêmicos e estudantes uma visão mais ampla de como estruturar um modelo de negócio sustentável.

1.1 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo desse trabalho é calcular o índice de circularidade para o setor químico brasileiro e fazer um corte transversal para as indústrias de primeira e segunda geração para entender como os fatores estratégicos e políticos contribuem para as variações do indicador proposto.

1.1.1 Objetivos específicos

Além do objetivo principal, os objetivos específicos definidos são:

- a. Calcular o índice de circularidade através da extração de fatores utilizando a análise de componente principal para o setor químico;
- b. Integrar os dados oriundos dos cálculos dos índices de circularidade com os dados dos segmentos da indústria química em um modelo gerado a partir de regressão linear de dados em painel.
- c. Identificar, por meio dos modelos de regressão, os fatores estratégicos e políticos e como esses podem explicar as variações do CEI

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O trabalho está fundamentado em como os indicadores podem ser utilizados para medir a circularidade e correlacioná-los com os modelos de estratégia de circularidade. Por esse motivo, é importante contextualizar como a Economia Circular estão conectadas assim como a importância da química para o processo de circularização e de *frameworks* que suportem o processo de migração dentro de um contexto da indústria química brasileira.

2.1 ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTABILIDADE

Acerbi e Taisch (2020) reconhecem as potencialidades na circularidade na indústria, mas afirmam que não há uma definição de como ela é implementada, sendo o conceito confundido com sustentabilidade de uma forma geral.

O conceito de economia circular ainda não atingiu uma maturidade e ao mesmo consenso entre os autores (KIRCHEHERR et al., 2018). Suarez-Eiroa et al. (2019) fez uma revisão da literatura sobre as definições sobre o tema e encontrou três estratégias comuns para a economia circular: a) minimizar as entradas de matérias primas e saídas de resíduo; b) manter o valor do recurso tão longo quanto possível dentro do sistema e reintegrar os produtos dentro do sistema até o final de vida.

Geissdoerfer et al. (2017) define economia circular como um sistema regenerativo no qual a entrada de recurso e resíduo, emissões, desperdícios de energia são minimizados pela redução, fechamento e estreitamento dos ciclos materiais e energéticos. Isso pode ser conseguido utilizando diversas estratégias baseadas no projeto do produto, manutenção, reparos, reuso, remanufatura, reforma e reciclo não vinculando o crescimento econômico ao uso do recurso dos recursos naturais. Já a sustentabilidade é definida como um balaço integrado entre a performance econômica, ações de inclusão social e resiliência ambiental para beneficiar as gerações atuais e futuras. Pode-se destacar que a economia circular também já começa a mapear os aspectos sociais (MIES; GOLD, 2021).

Com base nesse conceito, Sauv e et al. (2016) trabalha dois conceitos: a) a sustentabilidade que pode ser percebida como um conjunto de a oes que foram implementadas dentro de um pensamento linear e que a economia circular vem para preencher uma falha do desenvolvimento sustent vel na medida que o conceito de sustentabilidade n o trabalha com a ideia de fluxo; b) a sustentabilidade e economia circular s o disciplinas coerentes e

interdependentes de forma que a economia circular é uma ferramenta para o desenvolvimento sustentável.

A sustentabilidade e economia circular estão conectadas através de três pontos: a) a economia circular é necessária para o desenvolvimento sustentável; b) a economia circular é benéfica para a sustentabilidade; e c) a economia circular complementa o conceito do desenvolvimento sustentável (GEISSDOERFER et al., 2017; SUAREZ-EIROA et al., 2019). Por fim, Bonciu (2014) sugere que o desenvolvimento sustentável estabelece os objetivos a serem atingidos e a economia circular é a ferramenta para resolver algumas das causas desses problemas.

Os problemas estão endereçados por meio de 17 objetivos de desenvolvimento sustentáveis (ODS) propostos pela ONU em 2015. Segundo Chen et al. (2020), a água potável e a garantia de saneamento básico (ODS6), o consumo e produção de forma responsável (ODS12) e ações que visam reduzir os impactos ambientais (ODS13) estão relacionados com os impactos com falta de água, resíduos tóxicos e mudanças climáticas. O direcionamento dos efluentes e resíduos químicos assim como o aquecimento global por conta das emissões de gases contribuem negativamente para a limitação de recursos hídricos e poluição.

Entretanto, Loste et al. (2019) traz que a química ajuda na otimização do uso da matéria prima por conseguir transformar resíduos e subprodutos em novas matérias primas. Por sua vez, essas novas matérias primas ou não, podem ser utilizadas para a produção de novos produtos químicos e por consequência novos materiais que podem ser utilizados para o projeto e fabricação de outros produtos. Além disso, esses produtos possuem maiores possibilidades de reciclagem e uma maior eficiência dos processos de produção. A redução do uso de recursos na indústria química por meio da economia circular suporta um caminho para o desenvolvimento sustentável por intermédio da reciclagem de novos produtos químicos projetados para esse fim (CLARK et al., 2016).

2.2 QUÍMICA E ECONOMIA CIRCULAR

O setor químico tem sido desafiado a aplicar os princípios da química verde utilizando processos de produção que trazem menos riscos ao meio ambiente mediante um menor consumo de matéria prima e redução na geração de resíduos, efluentes, emissões (SILVESTRI et al., 2021).

O conceito da química verde com o objetivo em definir um processo ou produto mais verde ou que fosse mais facilmente degradado pelo meio ambiente (ANASTAS, 2007). A

química verde foi desenvolvida com o foco em prevenir a poluição antes que ela pudesse ocorrer. A forma para atender essa premissa poderia ser atendida pelo uso de matérias primas e solventes menos tóxicos e ou perigosos por meio de projetos de moléculas mais seguras, utilização de catalisadores e a prevenção na geração de resíduos.

O conceito da química verde permitiu um avanço na sustentabilidade dentro das empresas e na academia. No entanto, esse conceito foi criado em um ambiente dominado por um modelo linear. Keijer et al. (2019) propõem a química circular como uma evolução da química verde. A transição para o modelo de química circular está baseada no princípio da expansão do escopo de sustentabilidade através da otimização, desde o processo de produção até a expansão do ciclo de vida do produto. Esses princípios resultam em um aumento de eficiência do uso dos recursos ao longo da cadeia de valor, assim como o desenvolvimento de reações químicas e processos que permitam o reuso, reciclagem e a evolução para um ciclo fechado minimizando a geração de resíduo.

A química circular traz a necessidade de redução da complexidade dos processos e formulação dos produtos através da minimização do uso de aditivos, o uso de materiais tóxicos para facilitar a separação dos componentes de interesse e os mesmos possam ser reciclados ou reutilizados na forma de matéria prima (KUMMERER et al., 2020).

Mohan e Katalojwala (2020) trabalham o contexto da química circular e discutem os direcionadores da economia circular dentro da indústria química. Os direcionadores que possuem sinergia com o presente trabalho são: o fechamento do ciclos através circulação da molécula; otimização do processo de produção com o foco no consumo de solventes, aditivos, matéria prima e energia; utilização de matérias primas alternativas e com origem de alguma corrente oriunda de outro processo de produção; processos de produção com baixo carbono ; implementação conceito emissão zero e utilização de modelos de economia circular como estratégia de implementação

2.3 MODELO IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR E QUÍMICA

A European Environment Agency (EEA) (2016) propõe um modelo composto por três círculos: um círculo interno composto pelo reuso, reparo, redistribuição, reforma e remanufatura, um círculo intermediário composto por atividades ligadas à fluxo de materiais através da produção, distribuição, consumo, reciclo e projetos. Por fim o círculo externo que traz os efeitos das atividades nos fluxos de energia e emissões de gases.

Bocken et al. (2019) corroboram que na economia circular, os novos modelos de negócio deverão reduzir os ciclos com o foco na disponibilidade de recursos e mudanças climáticas. No entanto, propõem que, após passada a fase de inspiração, é necessário entrar em uma fase de operacionalização das estratégias de transição e implementação para garantir o processo de migração para a economia circular. Entretanto, os modelos ainda não estão totalmente em prática em função das bases e paradigmas de mercado que ainda não mudaram. Essa mudança não tem acontecido de forma mais rápida pela falta de modelos com o foco na transição economia circular para economia circular.

Potting et al. (2017) adapta o modelo da EEA (2016) e propõe um modelo baseado em estratégias de circularidade que estão agrupadas por nível de circularidade. Produtos mais “inteligentes” possuem um nível de circularidade maior pela possibilidade do uso do mesmo produto para diversas funções. Já as estratégias com o foco no aumento do tempo de vida dos produtos e componentes possuem um nível de circularidade maior que a estratégias envolvidas na recuperação.

Quadro 1 – Estratégias de Circularidade 9R

Nível Circularidade	Estratégia	Descrição
Utilização e Manufatura mais inteligentes	R0: Recusar	Fabricar produto redundante abandonando a sua função ou ofertar a mesma função através de um produto radicalmente diferente
	R1: Repensar	Fabricar produtos com uso mais intensivo (compartilhamento de produtos ou produtos de múltipla ação no mercado)
	R2: Reduzir	Aumentar a eficiência na manufatura do produto ou menor consumo de recursos naturais e materiais
Aumentar a vida útil dos produtos e ou seus componentes	R3: Re Utilizar	A utilização como produto em bom estado por um consumidor de um bem que foi descartado
	R4: Reparar	Reparar e fazer manutenção de um produto que está com defeito dando condição de retorno à sua função original
	R5: Reformar	Estabelecer a condição básica do bem
	R6: Remanufaturar	Usar partes de um produto descartado para utilizar em um novo
Aplicação útil dos materiais	R7: Repropor	Utilizar produtos descartados ou partes para a fabricação de um novo produto com uma função diferente
	R8: Reciclar	Processar materiais para obter a mesma linha de qualidade o menor
	R9: Recuperar	Incineração de materiais com a recuperação de energia

Fonte: Potting et al.2017

As estratégias estão organizadas no Quadro 1 de acordo com o nível de circularidade, indo da maior circularidade R0 para o menor nível de circularidade R9. Do R0 ao R3 são estratégias que reduzem diretamente o consumo de recursos naturais pelas mudanças diretas nos processos produtivos. Do R3-R7, são estratégias ligadas a aumento do tempo de vida que levam a um menor consumo de recursos através da circulação dos materiais e componentes. Por fim, as estratégias R8-R9, estão vinculadas à aplicação do material através da reciclagem (R8) e a R9 mais ligada recuperação de energia.

O Quadro 1, segundo Potting et al. (2017), é um ponto de partida para a definição da melhor estratégia para cada cadeia de produto, possibilitando um conjunto de R para cada cadeia de acordo com a sua característica.

Dessa maneira, Chen et al. (2020) faz uma abordagem de que a integração dos princípios da química verde à economia circular pode facilitar a gestão dos produtos químicos. O trabalho conecta os princípios da química verde ao modelo 9R de Potting et al. (2017) adaptando para as características dos produtos químicos como reduzir, reciclar, repropor, reusar e recuperar formando um modelo 5R.

Tendo como base o modelo proposto por Potting et al. (2017) e as características dos produtos químicos, Mohan e Katakjwala (2020) adaptam esse modelo e propõem o 5R para a implementação da química circular. O modelo é baseado na redução, reutilização, redefinição, reciclagem e recuperação.

A redução está ligada ao aumento de eficiência no processo de produção ou consumindo menos recursos (POTTING et al., 2017). Pelo fato de a indústria química consumir uma variedade de reagentes e solventes que geram resíduos, por isso que reduzir a geração de subprodutos é importante. Isso pode ser feito mediante a simplificação das etapas das reações químicas (ANG et al., 2020).

A reutilização traz o reuso de um produto por um consumidor a partir de um produto descartado e que esteja em condição de ser utilizado dentro de sua finalidade (POTTING et al., 2017). A conservação de recursos finitos precisa ser fomentada, sobretudo, por meio da reutilização dos materiais como catalisadores/solventes/reagentes na produção. Para isso, novas tecnologias para reutilização contínua de materiais dentro do sistema ou parque industrial (simbiose) precisam ser estimuladas (ANASTAS et al., 2010).

Pelo modelo de Potting et al. (2017), a redefinição é a modificação ou revisão de um produto para funcionar para uma nova aplicação ou em outros domínios que favoreçam a redução do desperdício. A redefinição dos produtos por meio de métodos químicos/térmicos/bioquímicos reduz a exigência de matéria-prima primária, otimiza os

rendimentos dos recursos, aumenta a renovabilidade e a multifuncionalidade dos produtos (MOHAN et al., 2017).

A reciclagem visa a sustentabilidade, promovendo assim a circularidade (MOHAN; KATAKOJWALA et al., 2020) É um processo que visa recuperar e aproveitar o material mantendo a sua especificação ou não (POTTING et al., 2017). A reciclagem (mecânica/química) previne o desperdício e reduz o consumo de matérias-primas virgens. A reciclagem do material depende da recuperação de suas propriedades nativas, onde a nova química é de fato essencial. A reciclagem de metais, materiais, solventes e produtos químicos é responsável por práticas eficientes em recursos. O processo de reciclagem não só apoia o meio ambiente, e contribui com fatores sociais e econômicos (CUCCINIELLO et al., 2018).

A recuperação visa recuperar a energia/material que existe após o processo de reciclagem, através de processos térmicos, catalíticos ou biológicos (Potting et al., 2017). A recuperação de solventes por técnicas de destilação, pervaporação e nanofiltração são as práticas comuns utilizadas na indústria química. As práticas de recuperação biológica, ou seja, digestão anaeróbica, processo acidogênico, cultivo de alga, são mais proeminentes para a recuperação de efluentes/águas residuais (MOHAN et al., 2016).

Avançando para a implementação de modelos de economia circular, Shcaubroeck et al. (2019), trazem em seu artigo que muita coisa tem sido feita para suportar os modelos, mas a falta de consenso sobre uma metodologia para avaliação dificulta a avaliação e análises consistentes da evolução do processo de migração para modelos de economia circular. Para superar essa lacuna Elia et al. (2017) propõem um modelo para a análise das estratégias de migração para um modelo de economia circular baseado em indicadores quantitativos.

A contribuição de Elia é no campo da estruturação da taxonomia dos indicadores que é baseada em dois fatores, podendo a metodologia ter um único indicador simples ou um indicador composto além disso, é a divisão em quatro categorias dos parâmetros a serem medidos: Fluxo de material, fluxo de energia, uso da terra e consumo, e necessidades baseadas em ciclo de vida. Dentro dessa divisão, as perdas e resíduos assim estão dentro da categoria Fluxo Material; o consumo de energia pertence ao fluxo de energia as emissões de gases de efeito estufa pertencem a categoria de uso da terra e consumo.

2.4 INDICADORES PARA MEDIR A CIRCULARIDADE

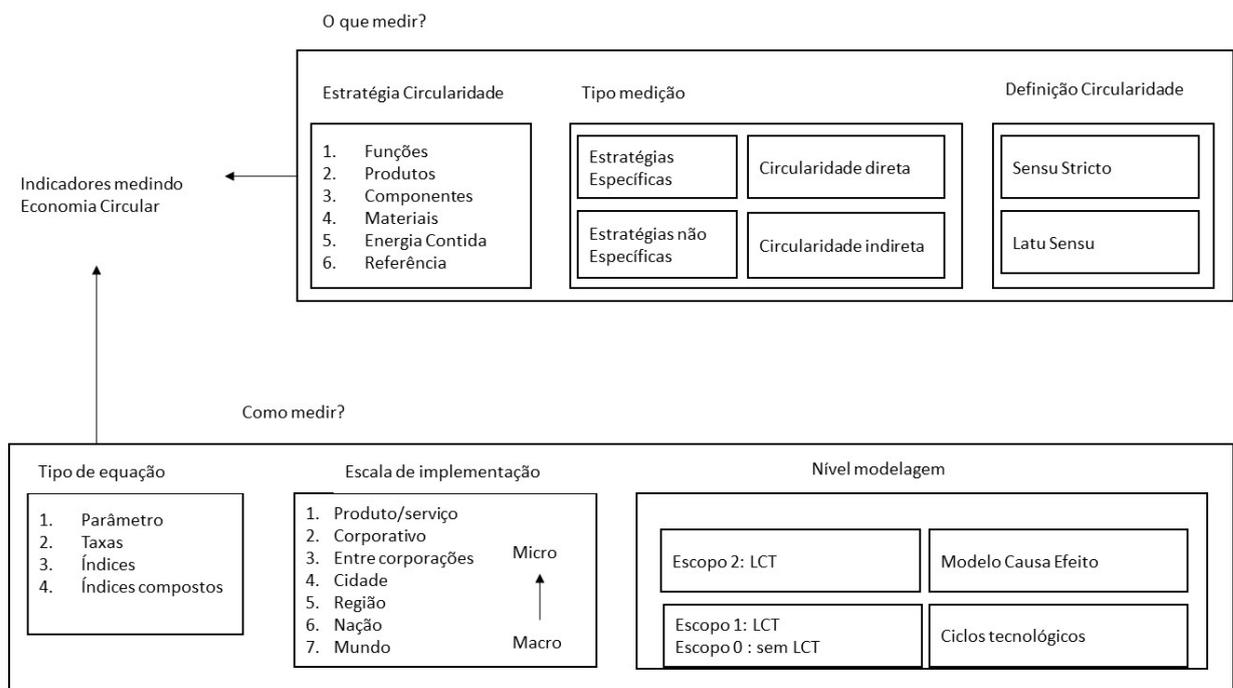
A importância dos indicadores é ressaltada por Morsetto (2020), que em seu trabalho abordou o papel das metas baseadas nas estratégias de circularização propostas por Potting et

al. (2017), na implementação dos modelos de economia circular investigando as metas existentes e novas metas para permitir uma análise mais ampla por parte dos acadêmicos e tomadores de decisão.

Os indicadores podem ser utilizados como uma ferramenta para tomada de decisão além de servir para outros propósitos como e avaliação a categorização de setores ou empresas (ELLEN MACARTHUR, 2019).

No entanto, antes da criação do indicador, recomenda -se a escolha com base no que se quer medir na estratégia de circularidade (MORAGA et al., 2019). Moraga et al. (2019) propõe um modelo para definir de forma estruturada indicadores que possam medir a circularidade de um modelo de negócio.

Figura 1 - Estrutura para escolha dos indicadores para definição do CEI



Fonte: Autor “adaptado” de Moraga et al. (2019).

O que medir parte da definição da circularidade e de sua abrangência que pode ser Senso Stricto ou Latu Sensu (MORAGA et al, 2019). A definição Senso Stricto possui um foco no fechamento do ciclo dos produtos por meio de ciclos de vidas maiores dos componentes e utilização dos produtos. É uma definição foca no ciclo tecnológico dos recursos (BOCKEN et al., 2016). A definição Latu Sensu é mais ampla e põe esforços na sustentabilidade e nos efeitos das estratégias na economia, meio ambiente e sociedade, uma vez que trabalha a maximização

da eficiência dos sistemas econômicos e do bem por meio do gerenciamento e redesenho do planejamento, recursos, compras, produção e reprocesso (MURRAY et al., 2017). Ainda segundo Moraga et al. (2019) não existe um sistema melhor ou pior, mas os indicadores devem estar alinhados com a definição.

O próximo passo é baseado no trabalho de Potting et al. (2018) que estuda os efeitos da circularidade na economia e que podem ser dados de forma direta ou indireta. Sendo assim, Moraga et al. (2019) usa como base esse conceito para definir que os indicadores podem medir de forma direta quando os dados estão disponíveis ou de forma indireta por meio de relatórios de empresas ou resultados de pesquisa. Associando a definição a uma estratégia específica, os indicadores podem ser classificados em três tipos de medida: Circularidade direta associada aos indicadores diretos com estratégias específicas com indicadores com o foco em uma ou mais estratégias definidas; Circularidade indireta associada à indicadores diretos com estratégias não específicas tendo como o foco em mais de uma estratégia e ao mesmo tempo não é possível identificar explicitamente a estratégia; Indicadores indiretos que avaliam aspectos das estratégias da circularidade no entanto com o uso de abordagens auxiliares. Os indicadores classificados dessa forma podem fornecer informações a respeito da circularidade, mas não estão diretamente ligados à definição de circularidade.

Quanto às estratégias de circularidade, de acordo com Blomsma e Brennan (2017), as mesmas possuem diversas definições pela literatura científica e pelo mundo corporativo, porém não há um consenso de que estratégia promove a circularidade (Reike et al., 2017), por isso que os modelos baseados em escadas ou nos Rs usam mais de três estratégias em conjunto para aumentar a circularidade (KIRCHHER et al., 2017; POTTING et al., 2017). Moraga et al. (2019), consegue identificar na literatura a respeito de estratégias de circularidade seis tipos de estratégias comuns, sendo cinco estratégias baseadas na preservação e uma estratégia baseada em um cenário de referência. Com isso, tem-se os seis cenários dispostos no Quadro 2.

Quadro 2 - Estratégias comuns para os modelos de circularidade

Estratégia	Direcionador
1	Preservar a função de produtos ou serviços fornecidos por modelos de negócios circulares, como plataformas de compartilhamento, PPS (orientada para uso e resultados), e esquemas que promovam a redundância de produtos e a multifuncionalidade
2	Preservar o produto em si através do aumento da vida com estratégias como durabilidade, reutilização, restauração, reforma e remanufatura.
3	Preservar os componentes do produto através do reaproveitamento, recuperação e redefinição das peças.
4	Preservar os materiais através da reciclagem e downcycling.
5	Preservar a energia incorporada através da recuperação de energia em instalações de incineração e aterros sanitários.
6	Medir a economia linear como cenário de referência ou a ausência de uma estratégia de preservação para mostrar o status, progredir ou regredir em direção à CE. Por exemplo, o indicador de geração de resíduos por pessoa em um ano (CE, 2018a) pode mostrar se a promoção da Economia Circular está gerando menos desperdícios

Fonte: Autor “adaptado” de Moraga et al. (2019)

Com isso, fecha-se a primeira parte do modelo exposto na Figura 1. A próxima etapa é definir como medir os indicadores. Essa etapa é composta pelo escopo de medição, escala de implementação e tipo de Equação.

Moraga et al. (2019) trabalha a definição do escopo é feita por meio do pensamento baseado no ciclo de vida (LCT). Segundo a UNEP (2005), LCT é a capacidade de olhar para os produtos/serviços além dos ciclos de projeto, produção, consumo, uso e disposição incluindo interações com a sustentabilidade. A sustentabilidade, segundo Dewulf et al., 2015, é baseada nos pilares ambientais, econômicos, sociais e tecnológicos. Unindo o conceito do LCT com a sustentabilidade, Moraga et al. (2019) considera em seu modelo os ciclos materiais, produtos/serviços como causa dos efeitos no meio ambiente, economia e sociedade. A partir dessa definição, são feitas três propostas de abordagens: Escopo 0 baseado em indicadores que medem propriedades físicas a partir de ciclos tecnológicos sem uma abordagem LCT, por exemplo, taxa de redução de consumo de energia; Escopo 1 baseado em indicadores com medem propriedades físicas a partir de ciclos tecnológicos com uma abordagem total ou parcial do LCT, por exemplo, reciclo, recuperação, recuperação de energia (ARBOLINO et al.,2019); Escopo 2 baseado em indicadores que medem os efeitos negativos ou positivos a partir de ciclos tecnológicos levando em consideração as preocupações ambientais, sociais e econômicas no modelo de causa/efeito (ELIA et al., 2019).

A escala de implementação é algo que deve ser levado em consideração em como medir os indicadores. Elia et al. (2019) trabalha com as divisões propostas por Ghisellini et al. (2016) que divide entre: micro a nível de empresas ou clientes; meso para parques industriais e macro para tratar a circularidade a nível de cidades a nações.

Por fim, Segundo Gallopin (1996), indicadores são variáveis que fornecem informações importantes para a tomada de decisão. Aprofundando, variáveis representam atributos qualitativos ou quantitativos (WASS et al., 2014). Os indicadores podem gerados a partir de variáveis individuais ou por meio de funções de variáveis como taxas - número relativo a um valor de referência-, índices – único número resultante a partir técnicas de agregação de duas ou mais variáveis - ou um resultado de uma simulação complexa a partir de um modelo (GALLOPIN, 2016). Finalmente, os indicadores medem em relação a uma referência específica. Esta referência pode ser construída internamente a partir dos dados gerados ou a partir de uma referência externa (MOLDAN et al., 2012).

Para o presente trabalho a construção do CEI foi baseada no trabalho de Mohan e Katakowala (2020) que indica a estratégia 5R como direcionador da química circular e por ser baseada no fechamento de ciclos tecnológicos. Pelo modelo proposto por Moraga et al. (2019), a definição de circularidade é *stricto sensu*; os indicadores são conseguidos a partir de uma base de dados existente, portanto uma circularidade direta e aborda estratégias específicas do modelo 5R proposto por Mohan e Katakowala (2020): Redução, Reuso, Reciclagem, Recuperação. As estratégias abordadas são as estratégias #3, #4, #5 do Quadro 1. Com essas premissas Arbolino et al. (2019) propõem indicadores baseados em energia, fluxo de materiais, resíduos, perdas (LI; SU, 2012; GENG et al., 2012; ELIA et al., 2017).

A abrangência dos indicadores em conjunto com os ciclos técnicos selecionados por Arbolino et al. (2019) é o escopo 1 por ser baseado em uma abordagem parcial do LCT (Redução, Reuso, Reciclagem, Recuperação) em conjunto com medições de indicadores de geração de resíduo, emissões de gases e consumo de energia. O nível de implementação é a nível micro, por tratar os indicadores de segmentos da indústria química.

As equações que serão utilizadas para a construção dos indicadores serão os índices que levarão a indicadores compostos. O indicador composto é um indicador formado a partir de um conjunto de dados. A OECD (2008) fornece os passos para a sua construção para que este não seja baseado apenas do ponto de vista de experiências e tenha vieses. Portanto, estejam agrupados da melhor forma permitindo maior precisão na representação da realidade.

A sua construção envolve a definição do modelo teórico, a seleção de dados, exclusão de dados extremos, a análise multivariada, normalização e pesos e possibilidades de agregar indicadores (OECD, 2008). Ele será detalhado na seção de metrologia.

2.5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO CEI

Um indicador, segundo Moraga et al. (2019), deve ser proposto com base na sua utilidade e deve ser construído por meio de uma base teórica. Esta seção tem o objetivo de aprofundar o contexto do CEI.

A consolidação do referencial teórico é feita por meio da construção do modelo teórico do CEI. Para isso, foram selecionados os indicadores que consigam capturar a implementação da economia circular dentro da indústria química (ARBOLINO et al., 2020) que utiliza o modelo de Elia et al. (2017) como base para escolha dos indicadores. Este modelo possui cinco classes de necessidades a serem medidas:

1. Redução da degradação dos recursos naturais através de um sistema de exploração mais eficientes de matérias primas, energia e água.
2. Redução das emissões atmosféricas.
3. Criação do modelo de produções fechados baseados em uma estratégia R. Essa condição pode ser conseguida através de uma menor geração de resíduos e a minimização de destinação de resíduos para aterros e incineração e menor consumo de energia.
4. Utilização dos recursos naturais mais renováveis possível.
5. Aumento do ciclo de vida do produto através do reuso e prática de reciclagem.

Arbolino et al. (2020) conecta as necessidades propostas por Elia et al. (2017) em três dimensões: redução e otimização de materiais, redução de emissão atmosféricas e perdas. Essa escolha está baseada no modelo de circularidade da EEA (2016) e fundamentada na proposta de Li e Su (2012) para a construção do indicador de desenvolvimento de circularidade das indústrias químicas que é baseado em três fluxos que são decorrentes das atividades industriais: fluxo de materiais, energia e emissões. Para completar o framework, tem-se o modelo de circularidade no qual os indicadores irão ser mensurados. Para isso, utiliza-se o modelo 5R proposto por Mohan e katakojwala (2020) que contextualiza para a indústria química como cada R está relacionado com as bases dos indicadores propostos. Os modelos que servem de base para o trabalho estão sumarizados no Quadro 3.

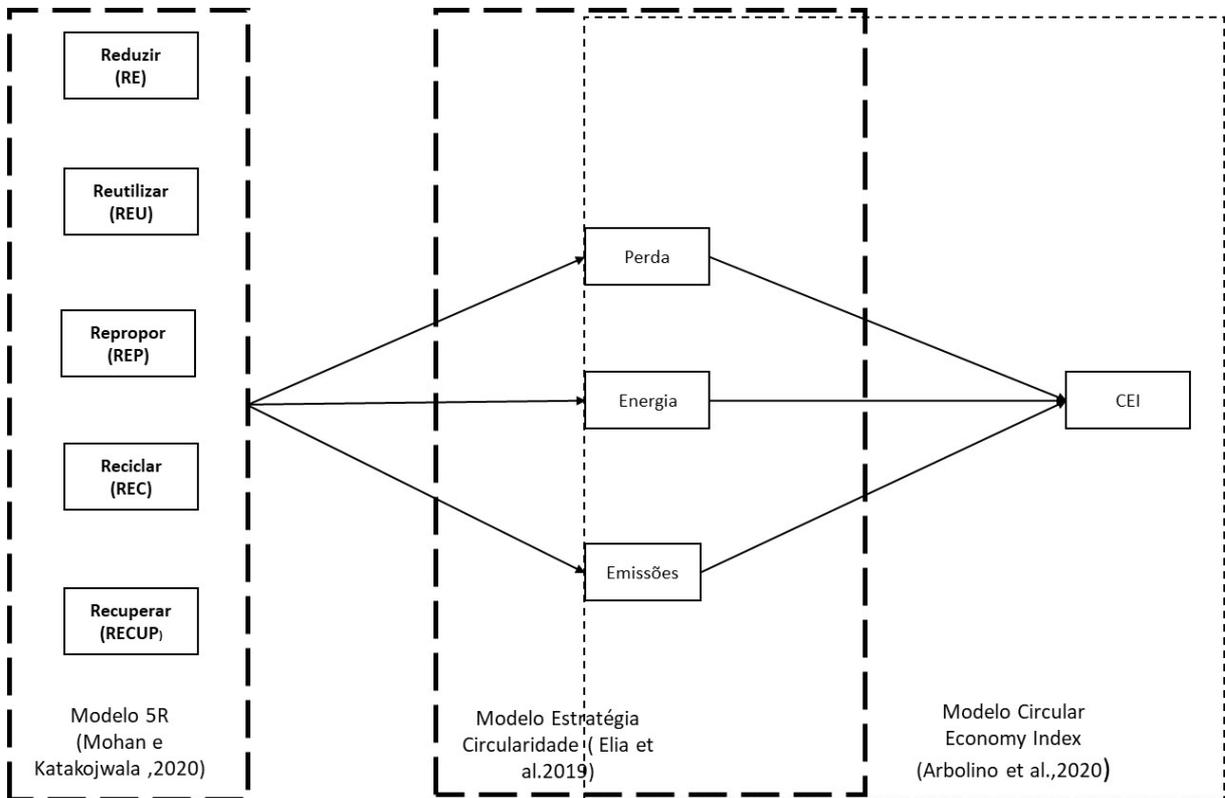
Quadro 3 – Sumário das fontes dos modelos utilizados na construção do CEI

Tipo Modelo	Fonte
Dimensões Estratégicas	Elia et al. (2019);
Modelo Índice Circularidade	Arbolino et al. (2020)
Modelo Estratégia Circularidade	Mohan e katakojwala (2020)

Fonte: Autor

Com base nos modelos relacionados no Quadro 3, propõe-se o modelo integrado para avaliação da circularidade para a indústria química brasileira.

Figura 2 - Modelo teórico base para o cálculo do CEI e relação com modelo de circularidade



Fonte: Autor “adaptado” de Arbolino et al. (2020); Mohan e katakojwala (2020); Elia et al. (2019).

O modelo mostra quais as dimensões estão envolvidas no cálculo do CEI. Esse indicador explica, através do modelo, o grau de avanço da circularidade do setor químico, levando em consideração os pilares de Energia, Emissões e Perdas (Resíduos). O modelo parte das necessidades a serem medidas do modelo de Elia et al. (2017). É um modelo de sinergia, uma vez que os tipos de indicadores são fornecidos por Elia et al. (2019), a estrutura de dados e indicadores propostos por Arbolino et al. (2020) para se chegar ao Índice de Circularidade e, em conjunto, utiliza o modelo 5R (MOHAN;KATAKOJWALA, 2020) como base para as estratégias de circularidades. O próximo passo é, ainda dentro da proposta de Moraga et al. (2019), definir o que deflagra as estratégias e como elas podem interferir nos indicadores.

2.6 FATORES DISPARADORES E BARREIRAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE MODELOS DE ECONOMIA CIRCULAR

Segundo Jesus e Mendonça (2018), existe uma intensa pesquisa no campo do progresso da migração para a economia circular, sobretudo nos fatores disparadores e barreiras para a sua implementação. Preston (2012) identificou os altos custos para modificação de processos, cadeias globais de suprimentos, uso de infraestrutura intensa, deficiências na cooperação entre empresas em projetos de cooperação, falta de interesse do consumidor, disseminação limitada da inovação entre os países como barreiras para implementação da economia circular. Vanner et al. (2014) complementa com a falta de investimentos públicos. Rizos et al. (2015) classifica as barreiras para o desenvolvimento em seis pilares: Cultura ambiental, barreiras financeiras, falta de legislação específica, suporte governamental limitado, déficit de informação, administração pesada e falta de conhecimento e treinamento.

Jesus e Mendonça (2018) propõe uma divisão entre dois grupos de fatores. Sendo um grupo tecnico-econômico e um grupo voltado para as questões políticas e sociais. Eles estão dispostos no Quadro 4.

Quadro 4 - Fatores Disparadores/Barreiras para sucesso dos Modelos de circularidade

Grupo	Fatores	Disparadores	Barreiras
I	Técnico	Disponibilidade de tecnologias que facilitem a otimização de recursos, remanufatura e regeneração de subprodutos como entrada para outros processos, desenvolvimento de soluções compartilhadas com superior experiência e conveniência do consumidor	Tecnologia inadequada, defasagem entre design e difusão, falta de suporte técnico e treinamento Grande
	Estratégicos /Financeiro/ Mercado	Relacionados às tendências do lado da demanda (aumento da demanda de recursos e consequente esgotamento de recursos) e tendências do lado da oferta (aumento de custos de recursos e volatilidade, levando a incentivos para soluções para redução de custos e estabilidade)	Grandes exigências de capital, custos significativos de transação, altos custos iniciais, informações assimétricas, retorno incerto e lucros
II	Institucional/ Regulatório Social/ Cultural	Associado ao aumento da legislação ambiental, normas ambientais e diretrizes de gestão de resíduos Conectado à consciência social, alfabetização ambiental e mudança de preferências dos consumidores (por exemplo, da propriedade de ativos para modelos de serviços)	Incentivos desalinhados, carente de um sistema jurídico propício, Quadro institucional deficiente Rigidez do comportamento do consumidor e rotinas das empresas

Fonte: Jesus e Mendonça (2009)

O fator I ou *hard factors* é classificado como fatores que provocam a mudança de estágio de evolução e o fator II ou *soft factors* trabalha o valor, a mudança por meio de atitudes e práticas institucionais (NYE, J, 1990 e 2006).

O Quadro 4 indica que a evolução para o modelo de economia circular, é influenciado por fatores estratégicos e por fatores institucionais (ARBOLINO et al., 2019).

A disponibilidade de soluções técnicas é fundamental para um balanço entre a durabilidade do produto, qualidade e eficiência tanto para o projeto de novos produtos como de redesenho de processos (JESUS; MENDONÇA, 2018). O potencial de reuso aumenta à medida que as tecnologias avancem, permitindo uma maior recuperação de material. A reciclagem de material, a gestão de resíduos, o uso de subproduto como matéria-prima dentro da indústria química para outros processos depende muito do desenvolvimento tecnológico (MOHAN; KATAKOJWALA, 2020). Outro ponto do trabalho de Jesus e Mendonça (2018) é que a disponibilidade técnica não se traduz apenas por meio da tecnologia apropriada (GENG et al., 2014; YU et al., 2015), mas também por lacunas criadas entre processos e desenvolvimento de produtos ou invenção e produção (GAO et al., 2006) e até mesmo, a falta de pessoal treinado para as novas tecnologias (GENG et al., 2010b).

Já os fatores estratégicos, financeiros e de mercado são pilares fundamentais para a migração para um modelo de economia circular. Essa importância deve-se ao aumento do consumo de recursos, da dependência, do esgotamento que causam impactos nos preços de matérias primas e insumos. Pelos motivos citados, as indústrias deveriam buscar novas soluções para garantir as suas competitividades de seus negócios (GENG et al., 2010b).

Os fatores disparadores com origem no mercado também podem motivar os fabricantes a iniciarem seus esforços de compra de forma mais sustentável (ZHU e GENG, 2013). O mercado também pode mudar a percepção do meio ambiente, indo de uma fonte de custos, para algo muito mais positivo, maduro com oportunidades de negócios (JONES et al., 2013).

As barreiras políticas/regulatórias também são um dos fatores mais importantes que limitam o desenvolvimento dos modelos de economia circular. Um balanço entre impostos, regras, infraestrutura e programas educacionais promovem o desenvolvimento dos modelos de economia circular. Um conjunto de leis apropriadas, em conjunto com incentivos, corroboram para o avanço dos modelos de circularidade (JESUS; MENDONÇA, 2018). Geng et al. (2010) trazem que as políticas ambientais existentes influenciam a definição sobre o que é, e o que não é resíduo (ou seja, materiais são muitas vezes categorizados como resíduos mesmo que eles, ou seus componentes, ainda possam ser reutilizados). A falta de clareza na definição dificulta o

desenvolvimento de eco-parques industriais e relações simbióticas. Geng et al. (2010) corroboram que políticas conflitantes promove a eficiência do produto e, ao mesmo tempo, a substituição produtos defasados, que às vezes traz o risco de superação, ou seja, o investimento excessivo em novas infraestruturas que utilizam mais recursos em sua construção do que jamais economizará ao longo de sua vida. Outro ponto é a dificuldade na aplicação e operacionalização das regulamentações ambientais, pois é consideravelmente mais difícil aplicar do que elaborar e aprovar as leis (GENG et al., 2010).

O incentivo à pesquisa e desenvolvimento, educação e treinamento para elevar a conscientização e criar a base de habilidade para que as pessoas e profissionais possam usar as novas tecnologias, assim como operar novos processos para a evolução dos modelos de economia para uma maior circularidade (JESUS; MENDONÇA, 2018).

Por fim, tendências como uma maior preocupação a problemas ambientais, mudança de preferências dos clientes (da propriedade para modelos de serviços) e percepção empresarial de ganhos reputacionais são considerados fatores disparadores para a migração para a economia circular. O desejo dos clientes e a aceitação cultural de modelos de negócios circulares, incluindo "sistemas de serviços de produtos", "contrato baseado em desempenho", "produto como serviço" e "servitização" (ou seja, prestação de um serviço em vez de propriedade) também agem na direção de uma maior circularidade (JESUS; MENDONÇA, 2018).

2.7 VISÃO GERAL INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA

A OECD (2001) classifica os produtos químicos em cinco tipos: **químicos básicos ou commodities** (produtos petroquímicos e inorgânicos). A partir desses são geradas as **especialidades químicas** (segmento de borracha e plásticos, tintas, adesivos, químicos de performance); **produtos voltados para a higiene** (detergentes, fragrâncias, cuidados pessoais); **química da vida** (indústria farmacêutica, agroquímica e biotecnologia); e **outros** (metais, vidro, produtos ligados à automotiva, papel e indústria têxtil. A Associação Brasileira das Indústrias Químicas (ABIQUIM) divide a indústria petroquímica em primeira geração: responsável pelo processamento da nafta e gás natural; segunda geração: produz matéria prima para a terceira geração e a terceira Geração que fornece produtos manufaturados para as indústrias de consumo.

O Brasil ocupa a posição de sexta maior indústria química no mundo com US\$ 127,9 bilhões em faturamento líquido, gera 2 milhões de empregos diretos e indiretos com salários 100% acima da indústria de transformação, participa 12 % do PIB Industrial brasileiro e 2,4%

do PIB brasileiro, recolhe R\$ 57 bilhões em impostos e tem investimento mapeados de R\$ 21 bilhões entre 2018-2022 (ABIQUIM, 2018).

É um segmento formado por 3.000 produtos utilizados em outros setores industriais ou na própria indústria química fabricados por aproximadamente 800 empresas. No entanto, para um acompanhamento mais detalhado do setor, a ABIQUIM monitora 200 produtos químicos de uso industrial de acordo com divisão mostrada no Quadro 5.

Quadro 5 - Grupo de produtos químicos, segundo Abiquim

SETOR	TIPO DE PRODUTO
Fabricação de produto Químicos Inorgânicos	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de Cloro e Álcalis • Fabricação de intermediário para fertilizantes • Fabricação de outros produtos inorgânicos
Fabricação de Produtos Orgânicos	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de petroquímicos básicos • Fabricação de intermediários para resinas e fibras: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Intermediários para plásticos ▪ Intermediários para plastificantes ▪ Intermediários para resinas termofixas ▪ Intermediários para fibras sintéticas • Fabricação de outros produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente <ul style="list-style-type: none"> ▪ Corantes e pigmentos orgânicos ▪ Solventes industriais ▪ Intermediários para detergentes ▪ Plastificantes ▪ Outros produtos químicos orgânicos
Fabricação de Resinas e Elastômeros	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de resinas termoplásticas • Fabricação de resinas termofixas • Fabricação de elastômeros
Fabricação de Produtos e preparados químicos diversos	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de adesivos e selantes • Fabricação de aditivos de uso industrial

Fonte: Abiquim

Deste Quadro 5 destaca-se a fabricação de produtos orgânicos, resinas e elastômeros que estão ligados à cadeia petroquímica. Essa cadeia envolve uma série de processos como prospectar, transformar, distribuir que estão associados a grandes quantidades de matérias primas que são convertidas em produtos químicos para atender a diversos clientes dentro de um país ou não.

A cadeia petroquímica possui uma estrutura dividida em produtos de primeira geração, segunda geração e terceira geração (GOMES, 2005).

A primeira geração é composta pelos petroquímicos básicos gerados a partir do processamento de frações de petróleo e como coprodutos temos solventes e óleos combustíveis;

segunda geração é formada por empresas que usam como matéria prima, os produtos gerados na primeira geração. São os produtores de resinas plásticas e de intermediários. Por fim, a terceira geração que é composta por empresa de transformação que fornecem embalagens, peças, e utensílios para os segmentos de alimentação, construção civil, elétrico, automotivo, entre outros (TESSAROLLI, 2019).

Para ganhar competitividade (sinergias logísticas, integração operacional, infraestrutura), a indústria petroquímica se organiza em conjuntos de empresas que no Brasil são chamados de Polos. Normalmente, as empresas da primeira e segunda geração estão dentro de um polo, podendo estarem integradas ou não (GOMES, 2005).

O Brasil possui três polos petroquímicos e um complexo gás químico localizados respectivamente nos estados de São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro. As três centrais petroquímicas e complexo gás-químico em operação são controlados pela Braskem. As centrais fazem parte da primeira geração petroquímica. Os polos da Bahia e Rio Grande do Sul operam com a nafta petroquímica como matéria prima. O polo de São Paulo processa nafta petroquímica e gás de refinaria e o complexo gás químico do Rio de Janeiro utiliza como matéria prima o etano e propano obtidos do processamento do gás natural (TESSAROLLI, 2019).

As empresas da terceira geração possui um perfil de localização mais próximas dos mercados consumidores (regiões sul e sudeste do Brasil), uma vez que os produtos petroquímicos finais da segunda geração são líquidos ou sólidos que podem ser transportados com uma complexidade logística menor que os produtos da cadeia de primeira geração (TESSAROLLI, 2019).

Quadro 6 - Correlação Geração x Tipo de produto

GERAÇÃO	TIPO DE PRODUTO (Quadro 5)	EXEMPLOS DE PRODUTO
Primeira geração	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de petroquímicos básicos 	Os principais produtos são Olefinas (eteno, propeno, butadieno), BTX (Benzeno, Tolueno, Xilenos); coprodutos como solventes e óleos combustíveis
Segunda geração	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de intermediários para resinas e fibras: <ul style="list-style-type: none"> ○ Intermediários para plásticos ○ Intermediários para plastificantes ○ Intermediários para resinas termofixas ○ Intermediários para fibras sintéticas 	São os produtores de intermediários (MVC, Óxido de Propeno, Fenol, Acrilonitrila, Ácido Acrílico, Anidrido Ftálico, Anidrido Maleico, Estireno, Óxido de Etileno), Plastificantes, Acrilatos;
	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de outros produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente <ul style="list-style-type: none"> ○ Corantes e pigmentos orgânicos ○ Solventes industriais ○ Intermediários para detergentes ○ Plastificantes ○ Outros produtos químicos orgânicos 	Os produtos intermediários são matéria prima para os produtos petroquímicos finais como PVC, Plasfificantes, Poliestireno, ABS, elastômeros, bases para tintas e detergentes
	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de resinas termoplásticas • Fabricação de resinas termofixas • Fabricação de elastômeros 	São os produtores de resinas plásticas (Polietileno, Polipropileno, PVC)

Fonte: Autor “adaptado” de Abiquim

O Quadro 6 faz a correlação entre a primeira geração, a segunda geração e o tipo de produto de acordo com a classificação adotada pela Abiquim. O Quadro 6 mostra a diversidade de produtos. São produtos fabricados a partir de matérias primas oriundas do petróleo e gás natural, que demandam energia e pela natureza química de seus processos geram resíduos, efluentes que precisam ser tratados e destinados de forma adequada. Por isso, a necessidade de um estudo para medir a circularidade de um segmento desse setor formado pela primeira e segunda geração através de uma pesquisa estruturada.

3 METODOLOGIA

.Este trabalho tem a característica de pesquisa observacional por coletar informações sem interferir ativamente com o objetivo de produzir informações (FORZA, 2011). O estudo foi caracterizado pelo levantamento amostral. A unidade amostral inicial foi definida com base no CNPJ das empresas e coletadas por meio das informações disponibilizadas pelos órgãos federais. Para o plano amostral, foram utilizadas as empresas que se enquadravam no Código de Atividades Econômica (CNAE) de categoria “20” que caracteriza o segmento químico e aglomeradas pelos subitens desta categoria.

Essa pesquisa usou o levantamento amostral estratificado e por conglomerado (CAUCHICK MIGUEL et al., 2010). Esse processo transcorre da forma explicada, no entanto, vale destacar que a variável dependente é uma resultante de uma série de pesquisas baseadas nos pilares de gestão de resíduos, emissões de gases e consumo de energia. Para poder representá-la, é utilizada a análise de componente principal (PCA) como técnica de agregação das informações (OECD,2008).

A segunda parte trata da análise exploratória dos dados. Essa etapa analisou o comportamento da variável dependente e de seus componentes ao longo do período de 2015-2019 por meio de análise gráficas dos dados.

A análise de dados foi feita por meio do uso da regressão com os dados em painel para estabelecer a relação de dependência entre as variáveis independentes e o comportamento das amostras.

A variável dependente do modelo foi construída a partir dos dados de performance ambiental disponibilizados por meio dos dados abertos do IBAMA e as variáveis independentes foram selecionadas a partir dos dados disponibilizados pelo IBGE. Embora os dados de performance ambiental possuam um horizonte de 2015 a 2019, o intervalo de tempo utilizado para construção do modelo de regressão foi limitado aos anos de 2017 a 2019 pela limitação da disponibilidade das pesquisas das variáveis independentes realizadas pelo IBGE.

Os dados para a construção da variável dependente foram selecionados de acordo com o trabalho de Li e Su (2012) e Arbolino et al, (2019) que identificaram as emissões atmosféricas, geração de resíduo, consumo de energia como indicadores importantes que caracterizam a atividade industrial. Mohan e Katalojwala (2020) também discutem esses parâmetros por meio do 5R e a redução de emissão como viabilizadores da química circular.

Para estabelecer a variável dependente, tendo os indicadores de emissões atmosféricas, geração de resíduo e consumo de energia como referência, foi necessário construir um indicador

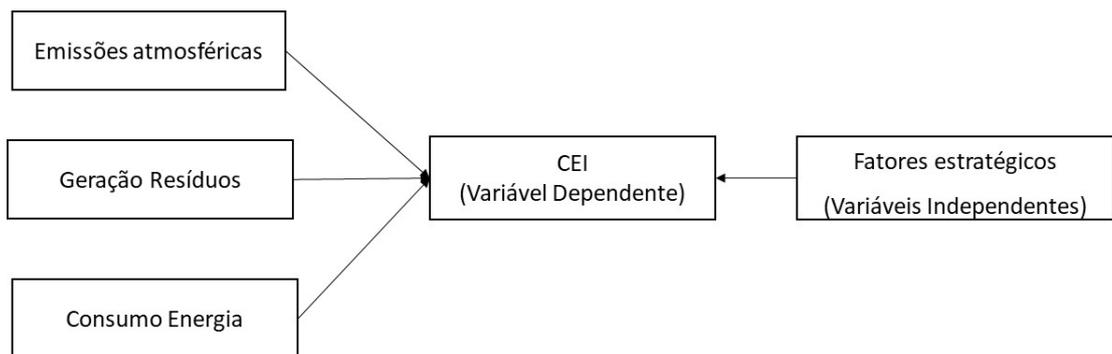
composto que represente a performance ambiental com as mesmas propriedades. Esse indicador recebe o nome de CEI (ARBOLINO et al., 2020) e é construído de acordo com a metodologia proposta pela OECD (OECD, 2008) que é baseado na análise de componentes principais para analisar a relação de interdependência entre as variáveis dependentes que compõem o CEI.

As variáveis independentes foram escolhidas para que pudessem representar os fatores disparadores econômicos e políticos (JESUS; MENDONÇA, 2018).

Para simplificar, a partir desse momento, o termo fator (es) disparador(es) será denominado de fator(es) seja(m) ele(s) econômico(s) e ou político(s).

Com base nas duas linhas de análise são propostos dois modelos empíricos que são representados pelas Figuras 3 e 4.

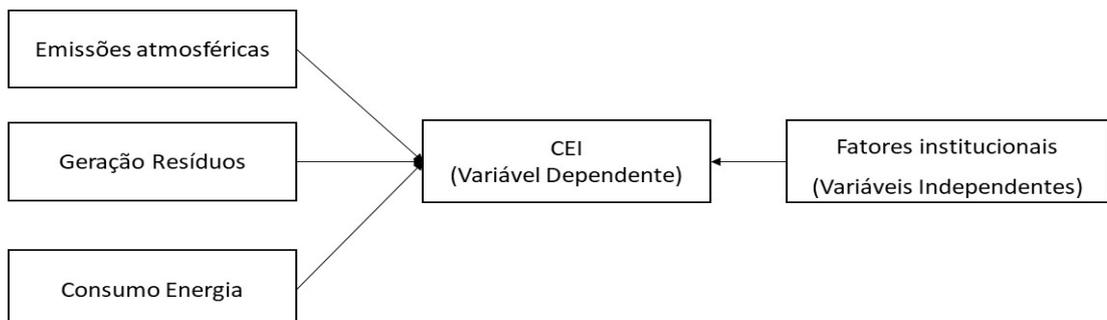
Figura 3 - Modelo 1: Influência dos disparadores estratégicos no CEI por CNAE



Fonte: Autor

A Figura 3 mostra o modelo para identificação de quais fatores estratégicos das indústrias químicas de primeira e segunda geração influenciam os resultados do CEI

Figura 4 - Modelo 2: Influência disparadores institucionais no CEI por estados



Fonte: Autor

Já a figura 4 mostra o modelo para identificação de quais fatores institucionais influenciam os resultados do CEI das indústrias químicas de primeira e segunda geração. Os modelos teóricos mostram as bases que suportam o CEI que é a variável dependente e a proposta de relação entre ele e o as variáveis independentes. O próximo passo é detalhar a construção do CEI.

3.1 CONSTRUÇÃO DA VARIÁVEL DEPENDENTE

A metodologia utilizada para a construção do CEI a partir de variáveis desagregadas segue o modelo proposto pela OECD (2008) para a construção de um indicador composto. O modelo é representado pela Figura 5.

Figura 5 - Passos para a construção do indicador composto



Fonte: Autor

Pela Figura 5, o ponto de partida foi definir o modelo teórico que suportar os indicadores. O modelo proposto pelo trabalho foi o modelo proposto por Arbolino et al. (2020). Tal modelo para a construção do CEI é suportado por três pilares resíduo, consumo de energia e emissão atmosférica. Com base nesses pilares, Li e Su (2019), Geng et al. (2014), Elia et al.(2019) propuseram indicadores que foram utilizados por Arbolino et al. (2020) para a composição do indicador. Os indicadores e seus contribuintes, assim como eles estão conectados, estão listados no Quadro 7 que é um desdobramento do Quadro 3 na seção 2.5.

Quadro 7 – Relação do indicador com o modelo de circularidade

Dimensão	Índice	Indicador	Correlação com os modelos de Circularidade
Resíduo	I1	Redução geração resíduo	Redução necessidade recursos naturais (ELIA et al., 2017) que está relacionado com o esforço das empresas na redução dos resíduos ao longo dos anos (R2) (MOHAN E KATALOJWALA, 2020) e (POTTING et al., 2017)
	I2	%Resíduos classificados gerados/total indústria	
	I3	%Resíduos reciclados/total indústria	Aumento da participação dos produtos reciclados (ELIA et al.,2017) que está relacionado com o esforço das empresas reutilização, repropor uma nova função para o descarte de um produto ou insumo ou reciclar para uma qualidade menor (R3, R7 e R8) (MOHAN E KATALOJWALA, 2020) e (POTTING et al., 2017)
	I4	%Resíduos utilizados para geração Energia Elétrica/total indústria	Redução necessidade recursos naturais (ELIA et al., 2017) que está relacionado com o esforço das empresas na recuperação na forma de energia dos materiais que não possam ser reinseridos nos processos de produção R9 (MOHAN E KATALOJWALA, 2020) e (POTTING et al., 2017)
	I5	% Resíduos Incinerados/total indústria	
	I6	% Resíduos aterrados/total indústria	
Energia	I7	Redução Consumo Energia	Redução necessidade recursos naturais (ELIA et al., 2017) que está relacionado com o esforço das empresas em uma maior eficiência (R2) (MOHAN E KATALOJWALA ,2020) e (POTTING et al., 2017)
	I8	%Consumo Energia Industria Química/total indústria	
Emissões	I9	Redução emissões SO2	Redução dos níveis emissão (ELIA et al., 2017) e busca pela emissão zero e (MOHAN E KATALOJWALA, 2020)
	I10	Redução emissões NOx	
	I11	Redução emissões CO	
	I12	Redução emissões MP	

Fonte: Autor

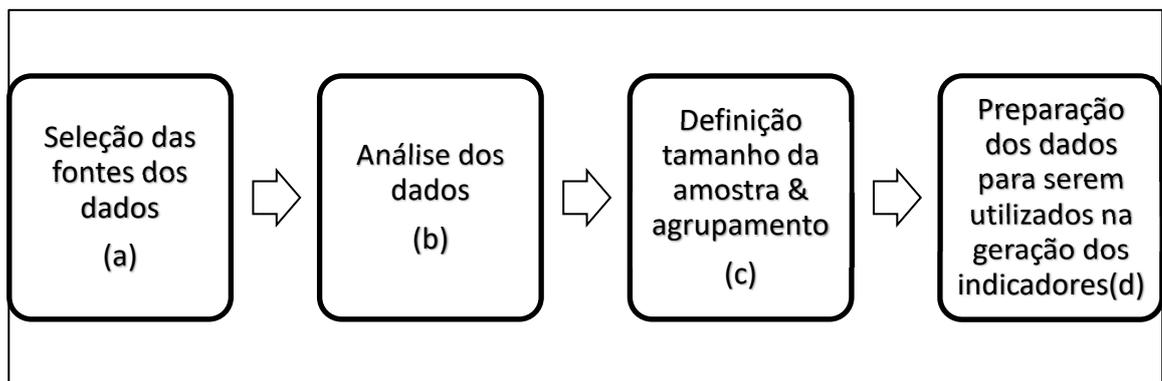
O Quadro 7 mostra que serão necessários doze indicadores de natureza operacional que estão relacionados com as dimensões dos modelos 9R de Potting et al.(2017) e o modelo de circularidade 5R para a química de Mohan e Katalojwala (2020). A seleção dos indicadores selecionado por Arbolino et al. (2020) foi feita com base nos trabalhos de e Li e Su (2012). O Quadro 7 também explicita o caráter multidisciplinar do CEI e que apenas um indicador não é suficiente para representar circularidade das operações de um segmento da indústria. No entanto, para uma análise de performance é importante ter um guia que mostre a evolução ao

longo do tempo das estratégias estabelecidas. Por isso, o CEI, tem uma proposta de refletir as dimensões dos modelos de circularidade.

Esses indicadores serão gerados a partir de dados selecionados de acordo com o critério definido.

A seleção de dados é o segundo passo em direção a obtenção do CEI. Essa etapa está dividida em quatro partes, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Etapas para seleção de dados



Fonte: Autor

Essa fase é caracterizada pela seleção da fonte das informações que representam o fenômeno estudado. É realizada uma análise preliminar para permitir a definição do tamanho amostra e como pode ser agrupada para gerar a base de dados para a construção dos indicadores que formaram o CEI

Como fonte de dados para a construção da variável dependente, para esse trabalho foram utilizadas as tabelas disponibilizadas pelo site do IBAMA. Essas fontes estão relacionadas no Quadro 8.

Quadro 8 - Fontes dos dados utilizados para os indicadores.

Arquivo	Link
Unidade Poluidora	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/RAPP/unidadePoluidora/relatorio.csv
Emissões Atmosféricas	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/RAPP/emissoesPoluentesAtmosfericos/relatorio.csv
Resíduos Sólidos Armazenador	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/RAPP/residuoSolidosArmazenador/relatorio.csv
Gerador Resíduo	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/RAPP/residuoSolidosGerador/relatorio.csv
Efluentes Líquidos	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/RAPP/efluentesLiquidos/relatorio.csv
Produtos Reciclados	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/RAPP/produtosReciclados/relatorio.csv
Destinador Resíduos Sólidos	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/RAPP/residuoSolidosDestinador/relatorio.csv
Fontes Energéticas	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/RAPP/fontesEnergeticas/relatorio.csv
Balanco Energético Nacional	https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas

Fonte: Autor adaptado de Ibama e EPE

As fontes listadas no Quadro 8 foram analisadas do ponto de vista de quatro atributos: Quantidade, Variáveis, Classe de informação e Período e organizadas de acordo com o Quadro 9.

Quadro 9 - Agrupamento das amostras por CNAE

Arquivo	CNPJ	Variáveis	Classe informação	Período
Emissões Atmosféricas	17.753	Tipo Poluente Nox, Sox, CO, CO ₂ , Material Particulado	Quantidades, CNPJ, Estado, Município	2013-2020
Gerador Resíduo	72.598	Unidade de emissão do poluente: Quilogramas, litros, Unidade	Quantidades, CNPJ, Estado, Município, tipo de resíduo	2000-2020
Destinador Resíduos Sólidos	2.793	Unidade de emissão do poluente: Quilogramas, litros, Unidade	Quantidades, CNPJ, Estado, Município, tipo de destinação do resíduo	2013-2021
Fontes Energéticas	42.128	Unidade de emissão do poluente: MWh, t/m ³ , t/mdc, t/st, TON	Quantidades, CNPJ, Estado, Município, tipo de fonte energética	2012-2020

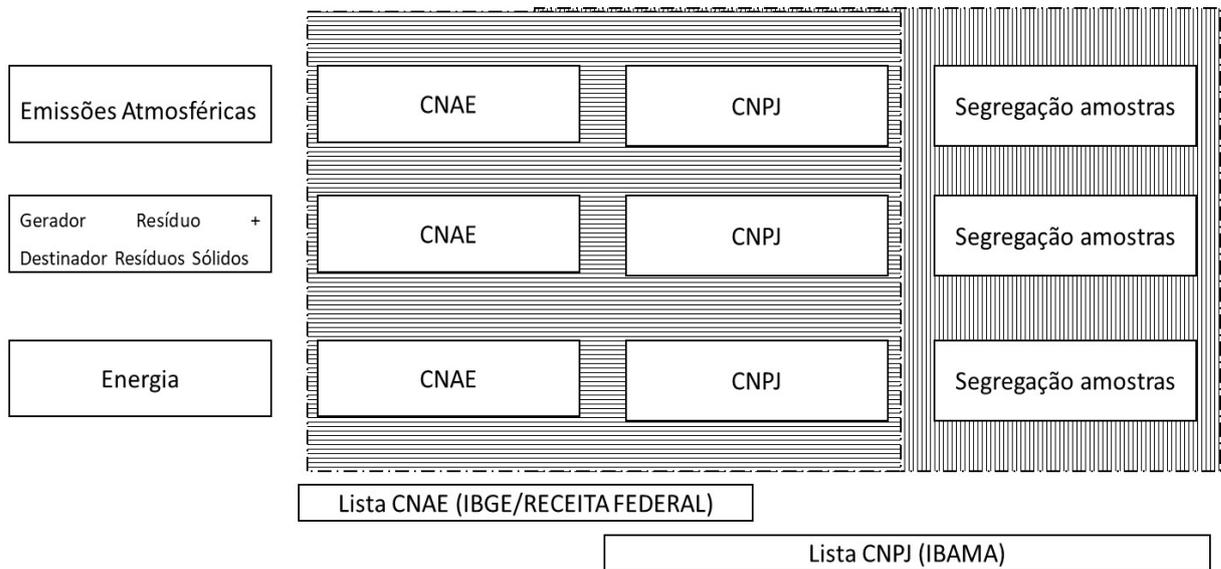
Fonte: Autor

O Quadro 9 mostra, além dos tipos de dados que foram analisados, as fontes de dados apresentam mostram horizontes de tempo distintos. Foi estabelecido o período de 2015 até o ano 2020 como horizonte de estudo. Para a definição do tamanho da amostra foi utilizada a CNAE como ponto de referência segmentação dos CNPJ de interesse para a análise.

A quantidade de CNPJ foi segmentada para que sejam pesquisados apenas os CNPJ ligados ao código 20 do CNAE que representam as atividades ligadas à indústria química.

As planilhas disponibilizadas pelo IBAMA não trazem a CNAE em sua base. Para conseguir relacionar o CNPJ com CNAE foi adquirida uma pesquisa por meio de uma entidade privada que fornece o CNPJ por estado brasileiro. O modelo que representa o cruzamento das Tabelas do IBAMA com as Tabela no CNAE/CNPJ é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Modelo de segregação de amostras CNAE x CNPJ



Fonte: Autor

O modelo da Figura 7 mostra a fonte de dados CNPJ/CNAE servindo de base para as planilhas disponibilizadas pelo IBAMA, tendo como ponto comum o CNPJ. As Tabelas resultantes desse processo passam a ter em sua base a informação também do CNAE. Com isso, foi possível fazer o corte para o segmento de interesse, nesse caso, o segmento químico, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Agrupamento das amostras por CNAE

	Emissões Atmosféricas	Gerador Resíduo	Destinator Resíduos Sólidos	Fontes Energéticas
CNPJ	17.753	72.598	2.793	42.128
	952	2.335	784	2.639
	Agrupamento	Agrupamento	Agrupamento	Agrupamento
CNAE	30	30	30	30

Fonte: Autor

A Figura 8 mostra a segmentação em duas etapas: a primeira segmentação do CNPJ pelo CNAE de interesse e o segundo passo agrupando os CNPJ que possuem o mesmo CNAE em subgrupos. Ao todo foram gerados 30 subgrupos. Os subgrupos foram construídos a partir da subdivisão do código 20.

Com os dados agrupados, o próximo passo foi a normalização dos dados. A normalização permite obter um conjunto de dados a partir de informações das amostras sem perder as propriedades originais (BOHRINGER E JOCHEM, 2007). Existem uma série técnicas para fazer a normalização (BOHRINGER E JOCHEM,2007; OECD,2008; SINGH et al., 2012). Para esse trabalho, foi utilizada técnica dos valores padrão a partir do z-score que foi utilizada por Arbolino et al. (2020) e Arbolino et al. (2019) no estudo de indicadores compostos para a indústria química.

O z-score baseia-se na fórmula:

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (1)$$

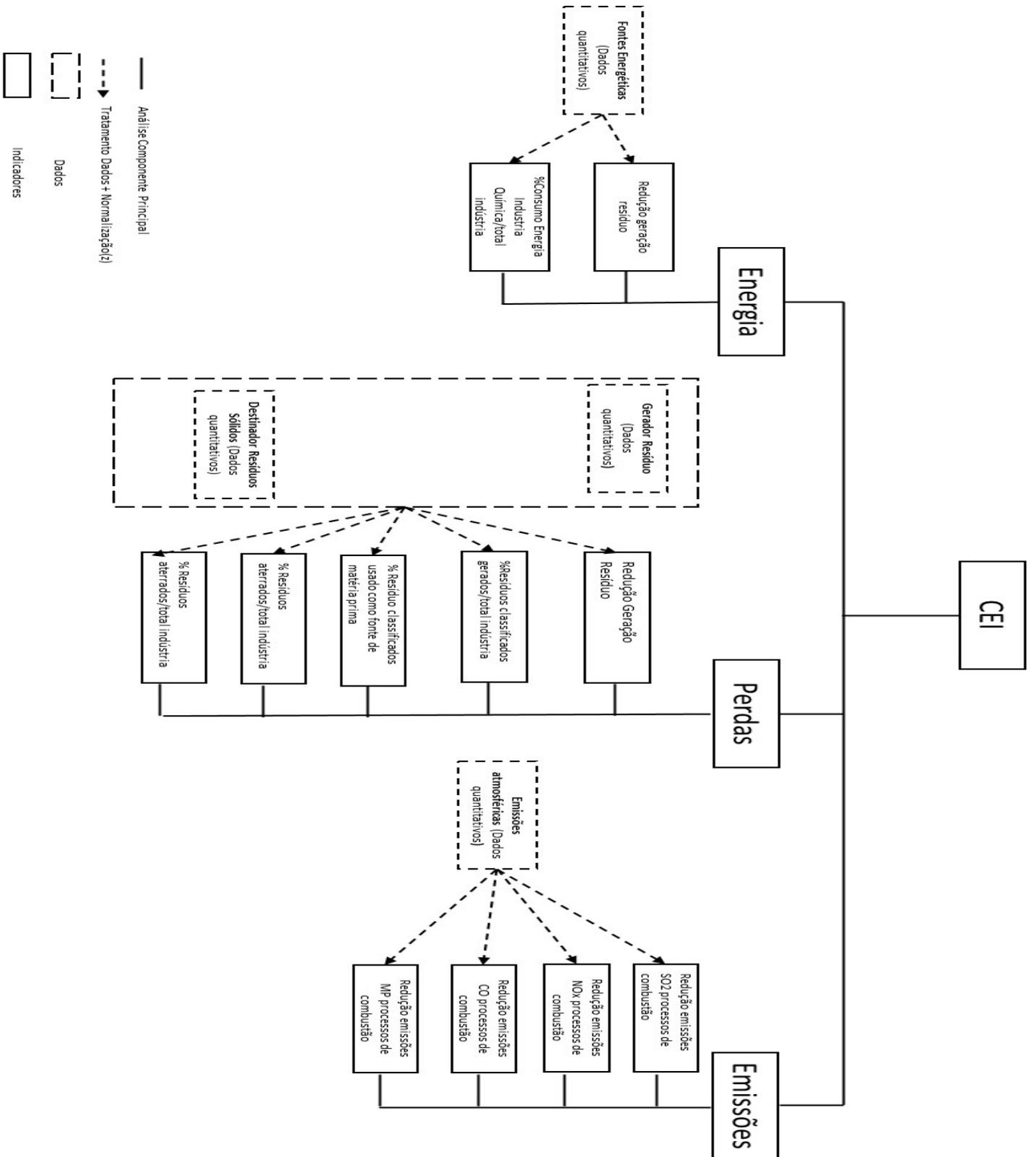
Cada variável x_i é convertida pela equação 1 para uma escala comum em um range de -1 a +1; onde \bar{x} representa a média das observações consideradas e s é o desvio padrão. O z-score é o número de desvio padrões em relação à média que o ponto observado está.

A técnica de normalização permite alocar em uma mesma base as informações dos indicadores desagregados em uma base comparável, tanto internamente para equalizar as diferenças de informação dentro de um mesmo arquivo gerador de dados como entre as bases que suportam o indicador composto.

Uma vez realizada a normalização dos dados, o próximo passo foi a realização da análise multivariada que é composta pela etapa de preparação dos dados, uso da técnica de cálculo das cargas fatoriais para os indicadores e realização de consistências das análises realizadas.

O objetivo da etapa de preparação foi o de fornecer as informações para permitir que as mesmas sejam organizadas de acordo com a necessidades dos indicadores como mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Fonte de dados integrados no modelo do CEI



Fonte: Autor “adaptado” de Arbolino et al. (2019)

Feita a preparação dos dados, o próximo passo, é a escolha do método para análise de dados multivariada. A análise recomendada para a construção de um indicador composto seria a Análise Fatorial (OECD, 2008; NICOLETTI et al., 2000; MORAGA et al., 2019) em conjunto com a Análise de Componente Principal (PCA). A análise de componentes principais é um método utilizado para a reorganização de um conjunto de variáveis em um novo conjunto e que é melhor interpretado com a mesma quantidade de informação que as variáveis originais. As variáveis do novo conjunto são chamadas de componentes (ARALDI; ZAMBALDI, 2008). Arbolino et al. (2020) utiliza essa metodologia para o estudo do segmento químico reforçando a escolha feita para esse trabalho. O papel da PCA é fornecer a quantidade de componentes de acordo com critérios pré-estabelecidos. Estabelecidas a quantidades de componentes e seus fatores, a Análise Fatorial (FA) fornece a carga fatorial para definir o peso de cada subindicador para o indicador de interesse.

Usou-se o R® na versão 4.1.1 para fazer a preparação das tabelas de acordo com as necessidades dos indicadores, realizar a análise de componente principal, a análise fatorial e o cálculo dos fatores. A Figura 9 dá uma visão geral de como o R® foi modelado.

O resultado da etapa de preparação são tabelas que serão utilizadas para a extração dos fatores por meio do PCA. Foram geradas as tabelas mostradas no Quadro 10.

Quadro 10 - Tabelas resultantes para modelagem do CEI

Tabela fonte	Tabela resultante	Período
Emissões Atmosféricas	Redução em % dos poluentes em relação ao ano anterior	2015-2019
Gerador Resíduo	Redução em % dos resíduos em relação ao ano anterior	2015-2019
	% Resíduo em relação ao total da indústria química no ano	
Destinador Resíduos Sólidos	% Resíduo utilizado para reciclagem no ano	2015-2019
	% Resíduo utilizado para geração energia elétrica no ano	
	% Resíduo utilizado para incineração no ano	
	% Resíduo utilizado para aterro no ano	
Fontes Energéticas	Redução em % dos energia em relação ao ano anterior	2015-2019
	Redução em % dos energia em relação ao ano anterior	

Fonte: Autor

Uma vez preparadas, as Tabelas servem como dados de entrada para a definição do número de fatores, assim como a sua carga de contribuição para explicação do fenômeno estudado.

Com as tabelas preparadas, a próximo passo é a extração das cargas por meio do cálculo das cargas fatoriais. O cálculo é feito por meio do Análise de Fator (FA). A análise de fator permite descrever uma série de Q variáveis x_1, x_2, \dots, x_Q em termos de um número de m fatores e que estão relacionados com essa variável. Esta análise assume que a variância pode ser decomposta em fatores comuns e fatores únicos. Matematicamente, o modelo é dado pela Equação 2:

$$\begin{aligned} x_1 &= \alpha_{11} F_1 + \alpha_{12} F_2 + \dots + \alpha_{1m} F_m + e_1 \\ x_2 &= \alpha_{21} F_1 + \alpha_{22} F_2 + \dots + \alpha_{2m} F_m + e_2 \\ &\dots \\ x_Q &= \alpha_{Q1} F_1 + \alpha_{Q2} F_2 + \dots + \alpha_{Qm} F_m + e_Q \end{aligned} \quad (2)$$

Onde $x_i (i=1, \dots, Q)$ representa as variáveis originais já padronizadas com zero de média e 1 de variância; $\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{im}$ são as cargas fatoriais relacionadas à variável X_i ; F_1, F_2, \dots, F_m são os fatores comuns, cada um com zero de média e 1 de variância; por fim e_i são os Q fatores específicos supostamente independentes e distribuídos com zero de média. A resolução da Equação acima ou extração dos fatores pode ser feita por métodos específicos para esse fim. O mais comum é fazer a extração utilizando o PCA para extrair os primeiros m componentes principais e considerá-los como fatores e desprezar os demais. O PCA é a metodologia preferida para o desenvolvimento de indicadores compostos (OECD, 2008).

A análise de componente principal tem como objetivo explicar a variância dos dados observados por meio de combinações lineares dos dados originais. Embora possam existir Q variáveis x_1, x_2, \dots, x_Q , uma grande parte da variação dos dados podem ser explicadas por um número menor de variável ou componentes principais ou combinação lineares dos dados originais, Z_1, Z_2, \dots, Z_Q . Matematicamente o PCA é representado pela Equação 3.

$$\begin{aligned} Z_1 &= \alpha_{11} x_1 + \alpha_{12} x_2 + \dots + \alpha_{1Q} x_Q \\ Z_2 &= \alpha_{21} x_1 + \alpha_{22} x_2 + \dots + \alpha_{2Q} x_Q \\ &\dots \\ Z_Q &= \alpha_{Q1} x_1 + \alpha_{Q2} x_2 + \dots + \alpha_{QQ} x_Q \end{aligned} \quad (3)$$

No entanto ainda existem Q componentes principais. O próximo passo é definir quais serão os primeiros componentes P, sendo $P < Q$ que consiga preservar uma grande quantidade de variância acumulada dos dados originais.

As cargas fatoriais ou pesos aplicados às variáveis x_j na Equação 3 são escolhidos de tal forma que os componentes principais satisfaçam as seguintes condições: i - eles são possuem correlação entre si, ou seja, são ortogonais; ii - o primeiro componente consegue responder pela

máxima proporção possível da variância das variáveis x_j ; o segundo componente principal responde pela variância remanescente e assim por diante; e:

$$\alpha_{i1}^2 + \alpha_{i2}^2 + \dots + \alpha_{iQ}^2 = 1, i = 1, 2, \dots, Q \quad (4)$$

Onde α_{ij}^2 são as cargas fatoriais e x_1, x_2, \dots, x_Q são as variáveis (indicadores) e Q é o número de variáveis.

PCA passa por encontrar os autovalores $\lambda_j, j=1, \dots, Q$, da matriz de covariância CM

$$CM = \begin{bmatrix} cm_{11} & \dots & cm_{1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ cm_{Q1} & \dots & cm_{Qq} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Onde cm_{ii} é a variância de x_i e cm_{ij} é a covariância de x_i e x_j . Os autovalores da matriz CM na equação 5 são as variâncias dos componentes principais e podem ser encontrados por meio da resolução da Equação característica $CM - \lambda I = 0$, onde I é a matriz identidade de mesma ordem que CM e λ é o vetor dos autovalores. Sendo assim, haverá Q autovalores e alguns deles serão pequenos ao ponto de serem desprezados. Além disso, autovalores negativos são possíveis para uma matriz de covariância. Uma propriedade importante dos autovalores é que a soma das variâncias dos componentes principais é igual a soma das variâncias das variáveis originais. Matematicamente representado pela Equação (6)

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_Q = cm_{11} + cm_{22} + \dots + cm_{Qq} \quad (6)$$

Essa propriedade garante a preservação das características originais dos dados. Outra característica do PCA é a possibilidade de redução de variáveis por meio das variâncias poder estimar as cargas para a representação de uma variável por meio de uma única Equação.

A questão é como decidir quais fatores devem permanecer na análise de forma a não perder muita informação. Não existe um consenso na literatura. Para esse trabalho, foi adotado Arbolino et al., (2019) utilizou o critério de Kaiser que despreza todos os fatores com autovalores abaixo de 1 e um critério baseado na variância de forma que o total de componentes explique 60% da variação total.

Após a escolha dos fatores que irão permanecer na análise é comum realizar a “rotação” que melhora a interpretação dos resultados. A soma dos autovalores não é afetada pela rotação,

mas a alteração dos eixos irá afetar de alguns fatores com impacto em suas cargas. Existem diversas estratégias, a mais comum é a rotação VARIMAX (OECD,2008)

Para a extração dos fatores e definição das cargas fatoriais é necessário resolver as equações (1) e (2). Pela complexidade envolvida no cálculo, usou-se o R como ferramenta para a aplicação do PCA. A análise fatorial seguiu a proposta Nicolleti et al.(2009). O modelo com os passos seguidos para a análise está descrito no Quadro 11 (ARALDI; ZAMBALDI, 2008).

Quadro 11 - Resultados da aplicação da Análise Componente Principal

#	Descrição Etapa	Finalidade
1	Fatores e suas cargas por variáveis	São a base para o cálculo da contribuição de cada variável no indicador
2	<ul style="list-style-type: none"> • Autovalores • Variância proporcional individual • Variância acumulada 	Elementos chaves para definir quantos fatores serão utilizados para a composição do indicador composto, com base em um critério. Para o trabalho, foi utilizado o critério de Nicolleti et al.(2009).
3	Rotação Fatores (VARIMAX)	Maximizar a contribuição de cada variável por fator

Fonte: Autor

Com os resultados obtidos por meio da extração dos componentes principais é possível construir o indicador composto. O roteiro é baseado na proposta de Nicolleti et al.(2009). Matematicamente a construção é mostrada a seguir.

O primeiro passo é tabular os fatores de acordo com a estrutura no Quadro 11. Dado um conjunto de dados com n variáveis i que podem gerar k fatores j , sendo que $k \leq n$. A estrutura no Quadro 12 foi desenvolvida para o primeiro fator, no entanto, o raciocínio é o mesmo para os k fatores gerados na análise.

Quadro 12 – Quadro de desenvolvimento peso indicadores

Variável (1 até n) (1)	Carga/Fator ((2)	Quadrados dos fatores (3)	% peso (4)
V_1	P_{11}	P_{11}^2	$\frac{P_{11}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2}$
V_2	P_{21}	P_{21}^2	$\frac{P_{21}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2}$
⋮	⋮	⋮	⋮
V_n	P_{n1}	P_{n1}^2	$\frac{P_{n1}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2}$

Fonte: Autor

Os dados normalizados referentes as variáveis da coluna 1 estão organizados conforme o Quadro 13

Quadro 13 – Quadro das variáveis normalizadas

V_1	V_2	...	V_n
Z_{11}	Z_{12}	...	Z_{1n}
Z_{21}	Z_{22}	...	Z_{2n}
⋮	⋮	⋮	⋮
Z_{m1}	Z_{m2}	...	Z_{mn}

Fonte: Autor

O peso de cada variável do Quadro 13 é definido com base no quadrado do fator j para a variável i em relação à soma dos quadrados dos fatores j. Cada fator j possui a sua soma dos quadrados, conforme Quadro 14

Quadro 14 - Quadro explicativo peso dos fatores.

Fator (1 até k) (1)	Soma dos quadrados fatores (2)	% peso dos fatores (4)
F_1	$\sum_{i=1}^n P_{i1}^2$	$\frac{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n P_{ij}^2}$
F_2	$\sum_{i=1}^n P_{i2}^2$	$\frac{\sum_{i=1}^n P_{i2}^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n P_{ij}^2}$
⋮	⋮	⋮
F_k	$\sum_{i=1}^n P_{ik}^2$	$\frac{\sum_{i=1}^n P_{ik}^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n P_{ij}^2}$

Fonte: Autor

Por definição, o indicador composto é uma combinação dos dados (Z_1 a Z_m) que refletem o comportamento das variáveis (V_n) que suportam o um dado modelo teórico (OECD,2008). As contribuições são os resultados das extrações das componentes principais desses dados que irão gerar k fatores (F_k). Esses fatores também terão contribuição para o indicador. Todas as informações necessárias para a geração do indicador foram agrupadas e trabalhadas por meio dos Quadros 12, 13 e 14. Matematicamente, é dado pela Equação 7:

$$\begin{aligned}
I_1 = & \frac{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n P_{i1}^2} * (Z_{11} * \frac{P_{11}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2} + Z_{12} * \frac{P_{21}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2} + \dots + Z_{1n} * \frac{P_{n1}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2}) + \frac{\sum_{i=1}^n P_{i2}^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n P_{i2}^2} * \\
& \left(Z_{11} * \frac{P_{12}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i2}^2} + Z_{12} * \frac{P_{22}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i2}^2} + \dots + Z_{1n} * \frac{P_{n2}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i2}^2} \right) + \dots + \frac{\sum_{i=1}^n P_{ik}^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n P_{ik}^2} * (Z_{11} * \frac{P_{1k}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2} + \\
& Z_{12} * \frac{P_{2k}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2} + \dots + Z_{1n} * \frac{P_{nk}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2}) \tag{7}
\end{aligned}$$

Essa forma segue do primeiro dado ao m-ésimo dado para cada variável e sua Equação é representada pela Equação 10.

$$\begin{aligned}
I_m = & \frac{\sum_{i=1}^n P_{im}^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n P_{i1}^2} * (Z_{m1} * \frac{P_{11}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2} + Z_{m2} * \frac{P_{21}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2} + \dots + Z_{mn} * \frac{P_{n1}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2}) + \frac{\sum_{i=1}^n P_{i2}^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n P_{i2}^2} * \\
& \left(Z_{m1} * \frac{P_{12}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i2}^2} + Z_{m2} * \frac{P_{22}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i2}^2} + \dots + Z_{mn} * \frac{P_{n2}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i2}^2} \right) + \dots + \frac{\sum_{i=1}^n P_{ik}^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n P_{ik}^2} * (Z_{m1} * \frac{P_{1k}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2} + \\
& Z_{m2} * \frac{P_{2k}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2} + \dots + Z_{mn} * \frac{P_{nk}^2}{\sum_{i=1}^n P_{i1}^2}) \tag{8}
\end{aligned}$$

O modelo sequencial até o CEI é dado pelo Quadro 15 Foram realizadas a extração dos fatores para os dados referente aos anos de 2015 a 2019

O número de fatores F_k a ser considerado no modelo depende dos resultados de autovalores, variância individual e a variância acumulada dos fatores definidos pela análise. As regras estabelecidas no trabalho de Arbolino et al. (2020), foram as seguintes: fatores que apresentaram autovalores maiores que 1; o fator explica individualmente mais que 10% da variação e que no conjunto mais que 60% da variação total.

Quadro 15 – Sequência de análises PCA

Tabela	Variáveis	Subindicador	Saídas	Subindicador	Z (indicador)	Z(indicador)
Gerador Resíduo	Kilograma+ Litros+ Unidade+	Redução Geração Resíduos por ano (A1)	Zr1			
		% Resíduos/total indústria química (A2)				
Destinador Resíduo	Resíduos reciclados + Resíduos aterrados + Resíduos utilizados +Resíduos incinerados + Resíduos aterrados	% Resíduos destinados/total indústria química (A3)	Zr2	Zr1+Zr2 (A7)	Perdas	CEI (A8)
Fontes Energia	MWh + t/m3+t/st + t/mdc + Ton	Redução consumo Energia por ano (A4)	Zen1	Zen1	Energia	
		% Consumo Energia indústria/ total indústria química (A5)				
Emissões	CO + Material Particulado + SOX + NOX	Redução % emissões por ano (A6)	Zem1	Zem1	Emissões	

Fonte: Autor

O Quadro 15 mostra que foram realizadas oito análises fatoriais para cada ano totalizando oitenta análises realizadas para o período de 2015-2019 entre análises por CNAE e análise por UF para as indústrias de primeira e segunda geração. Essas análises estão representadas pela letra “A” em parênteses na coluna subindicador. Parte-se das variáveis iniciais disponibilizadas pelos dados. A coluna Saídas na Tabela mostra as variáveis já representadas de acordo com as cargas fatoriais. Esses dados servem de entrada para os indicadores de energia, perdas e emissões. Ao fim, tem-se o indicador composto. O resultado do indicador composto é um conjunto de dados distribuídos de forma normal, com média zero e variância unitária. O próximo passo é efetuar a normalização dos resultados.

Para calcular o CEI, adotou-se uma escala linear para normalização de acordo com a Equação 9 que segue a técnica Min-Max (OECD, 2008).

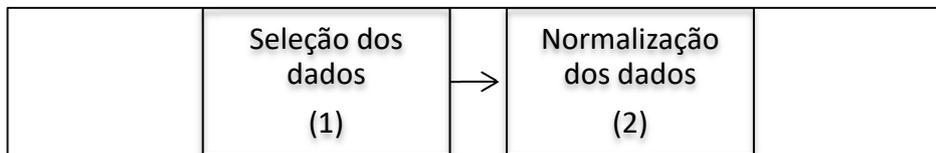
$$CEI = \frac{ZCEI_j - MinZCEI}{Max ZCEI - MinZCEI} \quad (9)$$

Dessa maneira o CEI, calculado pela Equação 9 é um valor que entre 0 e 1. Dessa maneira pode-se posicionar e ranquear cada amostra.

3.2 CONSTRUÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

O CEI pela modelo proposto na Figura 9 é o resultado de três indicadores: perdas (resíduos), energia e emissões. Esses indicadores refletem a operação dos segmentos estudados. Para entender quais fatores poderiam influenciar o CEI, foram escolhidas variáveis que refletem as estratégias dos segmentos estudados. Para a definição das variáveis independentes seguiu-se o modelo da Figura 10. As variáveis independentes foram escolhidas com base nos fatores disparadores da circularidade do trabalho de Jesus e Mendonça (2018) discutidos na seção 2.5.

Figura 10 - Etapas para a construção das variáveis independentes



Fonte: Autor

Da mesma forma que a seleção das fontes para o CEI, essa fase é caracterizada pela seleção da fonte das informações seguida da análise dos dados, definição do tamanho da amostra e agrupamento e, por fim, a preparação dos dados para serem analisados em conjunto com o CEI. A fonte dos dados para a seleção das variáveis independentes está relacionada no Quadro 16.

Quadro 16 - Fonte de dados das variáveis independentes

Arquivo	Link
Pesquisa Industrial Anual- Empresa	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html?=&t=resultados
Pesquisa Industrial Anual - Produto	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9044-pesquisa-industrial-anual-produto.html?=&t=resultados
Painel - Ranking de Competitividade dos Estados	https://dados.gov.br/dataset/painel-ranking-de-competitividade-dos-estados

Fonte: Autor

Para a análise dos dados, os atributos das variáveis foram organizados de acordo com o Quadro 17.

Quadro 17 - Atributos das variáveis independentes.

Arquivo	Classe informação	Variáveis	Período
	Estrutura dos custos e despesas das empresas industriais com 30 ou mais pessoas ocupadas, segundo as divisões, os grupos e as classes de atividades - Brasil - 2017	Gastos com pessoal, compra de matéria Prima, consumo de combustíveis. Consumo energia elétrica, serviços prestados por terceiros, despesas com manutenção	2017-2019
	Estrutura do valor da transformação das empresas industriais com 30 ou mais pessoas ocupadas, segundo as divisões, os grupos e as classes de atividades - Brasil - 2017	Receita líquida de vendas, custos operacionais industriais	
	Estrutura do valor adicionado das empresas industriais com 30 ou mais pessoas ocupadas, segundo as divisões, os grupos e as classes de atividades - Brasil - 2017	Valor adicionado	
	Estrutura do investimento das empresas industriais com 30 ou mais pessoas ocupadas, segundo as divisões, os grupos e as classes de atividades - Brasil - 2017	Compras de imobilizado (ativos fixos), melhorias	
Pesquisa Industrial Anual - Produto	Produção e vendas dos 100 maiores produtos e/ou serviços industriais, segundo a posição nacional em receita líquida de vendas, com indicação da descrição dos produtos e das Unidades da Federação	Produção	2017-2019
Painel - Ranking de Competitividade dos Estados		Potencial de mercado, infraestrutura, capital humano, sustentabilidade social, segurança pública, solidez fiscal, eficiência máquina pública, inovação, sustentabilidade ambiental, ranking geral	2017-2019

Fonte: Autor

Em seguida foi realizada a normalização dos dados das variáveis independentes listadas no Quadro 17. Desta maneira, os dados foram dispostos em uma mesma base.

O próximo passo foi estudar a relação entre as variáveis independentes selecionadas e a variável dependente (CEI). Para esse estudo, optou-se pela regressão com dados em painel.

A variável dependente, CEI, foi gerada a partir de dados que possuem variação ao longo do tempo. Da mesma maneira, as variáveis independentes também possuem variações dentro do período analisado. Ou seja, a unidade de corte, nesse caso representado pelas indústrias de primeira e segunda geração possuem evolução ao longo do tempo tanto para o modelo 1 quanto para o modelo 2. Dentro desse contexto, a regressão com dados em painel é indicada para tentar explicar as variações do CEI. Segundo Gujarati e Porter (2011), a regressão em painel possui

os benefícios de levar em conta a heterogeneidade da análise entre os segmentos; maior informação, maior variabilidade e menor colinearidade entre variáveis devido à combinação e séries temporais e dados com corte transversal; detecta melhor os efeitos em comparação aos estudos transversais puros ou em séries temporais puras e por fim, minimiza os vieses decorrentes de agregação de dados.

Existem três possibilidades de análise deste tipo de regressão que são listadas no Quadro 18.

Quadro 18 - Tipos de regressão de dados em painel

Tipo Regressão	Tipo análise
POOLED	Considera que o intercepto do modelo e seus coeficientes angulares são constantes ao longo do tempo e no espaço, sendo que o termo de erro capta a diferença no tempo entre os indivíduos
EFEITOS FIXOS	Regressão considera que os coeficientes são constantes e que o intercepto varia entre os indivíduos
EFEITOS ALEATÓRIOS	Regressão considera que intercepto assume o valor médio comum entre os indivíduos e os coeficientes angulares variam ao longo do tempo e entre os indivíduos

Fonte: Autor

Para os modelos que correlacionam os fatores estratégicos e políticos do segmento químico com o CEI foram testadas as regressões com efeitos fixos e efeitos aleatórios, seguindo a metodologia proposta por Arbolino et al. (2019).

Outro ponto importante é que o horizonte para a construção do CEI vai de 2015 até o ano de 2019, no entanto, os dados dos fatores que podem influenciar na performance do CEI vão de 2017 ao ano de 2019. Sendo assim, para a construção dos resultados e análise trabalhou-se com o horizonte de 2017 a 2019.

Definida a forma de regressão dos dados, o próximo passo é definir quais variáveis independentes foram utilizadas como bases para o modelo a ser estudado. Para tanto, as variáveis foram definidas com base no trabalho de Jesus e Mendonça (2018) que divide os fatores que influenciam na economia circular em econômicos e políticos em conjunto com a matriz de correlação das variáveis independentes e o CEI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo dessa seção é realizar uma análise exploratória dos resultados das análises estatísticas realizadas: as extrações dos componentes principais para a construção do indicador composto e as regressões para identificação dos fatores que podem ajudar a entender as variações no CEI para o período analisado.

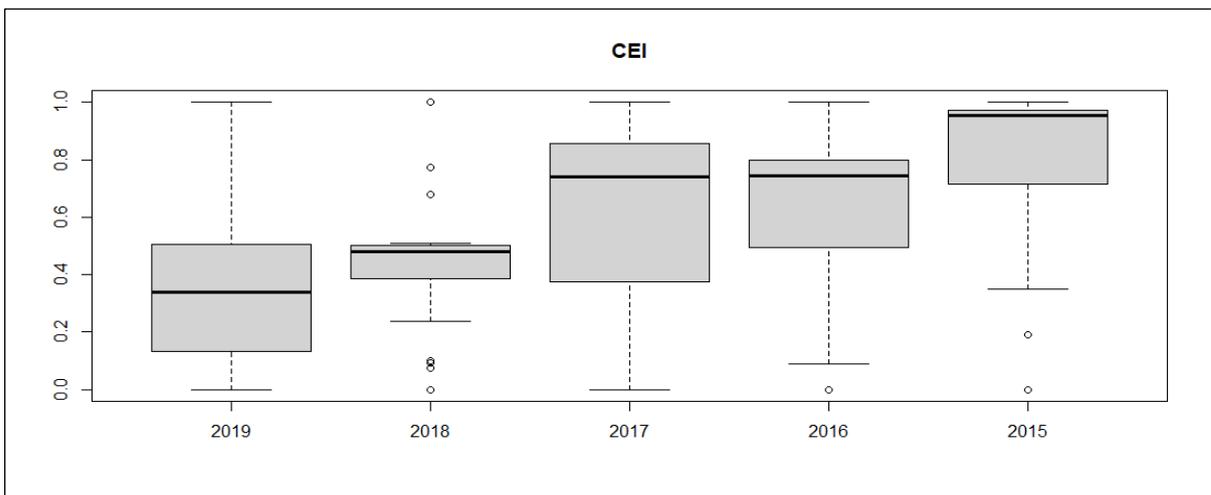
Os resultados são divididos entre o cálculo do CEI com o objetivo de análise do setor químico e como o segmento da primeira e segunda geração estão dispostos segundo a localização geográfica; a correlação do CEI com as variáveis independentes e como essas variáveis impactam do ponto de vista de fatores estratégicos/mercado e pelos fatores institucionais o CEI.

4.1 CEI

Os resultados das análises de extração para a construção do CEI foram compilados e para uma visão geral do setor químico ao longo dos anos de 2015 a 2019. Os resultados do CEI e seus subindicadores estão nos apêndices A1 ao A18.

A Figura 11 mostra uma amplitude entre os dados, sugerindo um comportamento variado dentro do setor do ponto de vista de performance de circularidade. O gráfico também sugere uma queda da mediana do CEI ao longo dos anos analisados. Possivelmente, os diversos segmentos que compõem o setor químico não estão conseguindo manter ou desenvolver estratégias para implementar modelos de produção e negócios mais circulares.

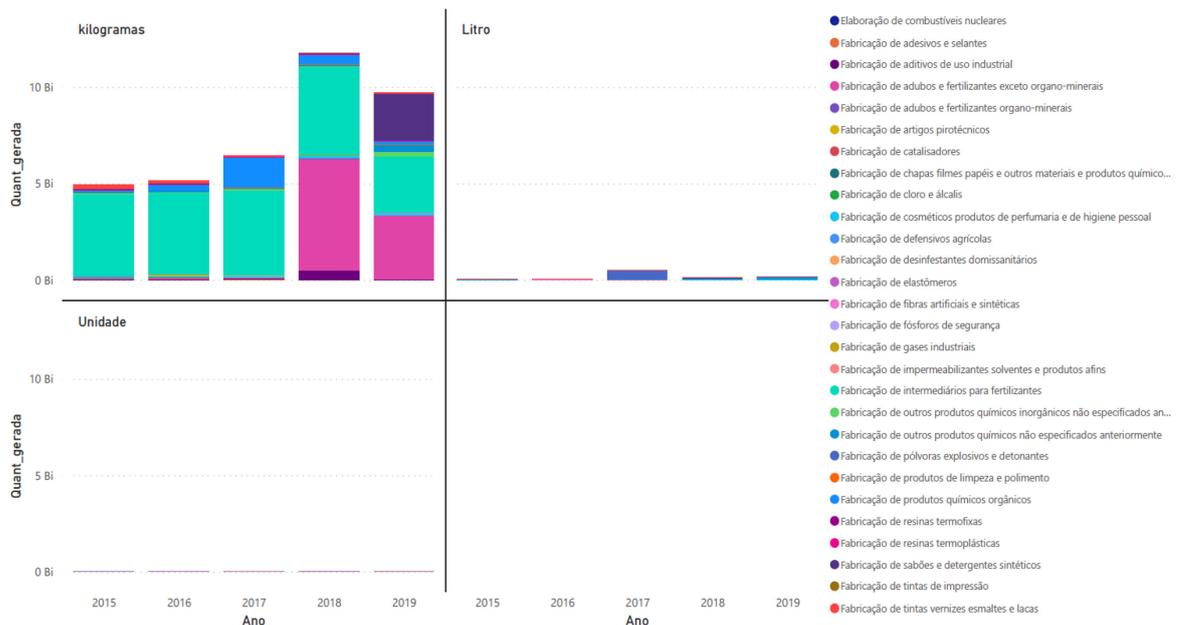
Figura 11 - Evolução CEI por CNAE 2015-2019



Fonte: Autor

O indicador CEI é uma combinação dos resultados dos pilares Resíduos, Energia e Emissões. Os resultados quantitativos das variáveis com suas respectivas unidades estão representados na forma gráfica por setor por meio das Figuras 12, 13, 14 e 15 para uma primeira análise. Os gráficos são mostrados na perspectiva das unidades nas quais as informações são disponibilizadas fontes pesquisadas.

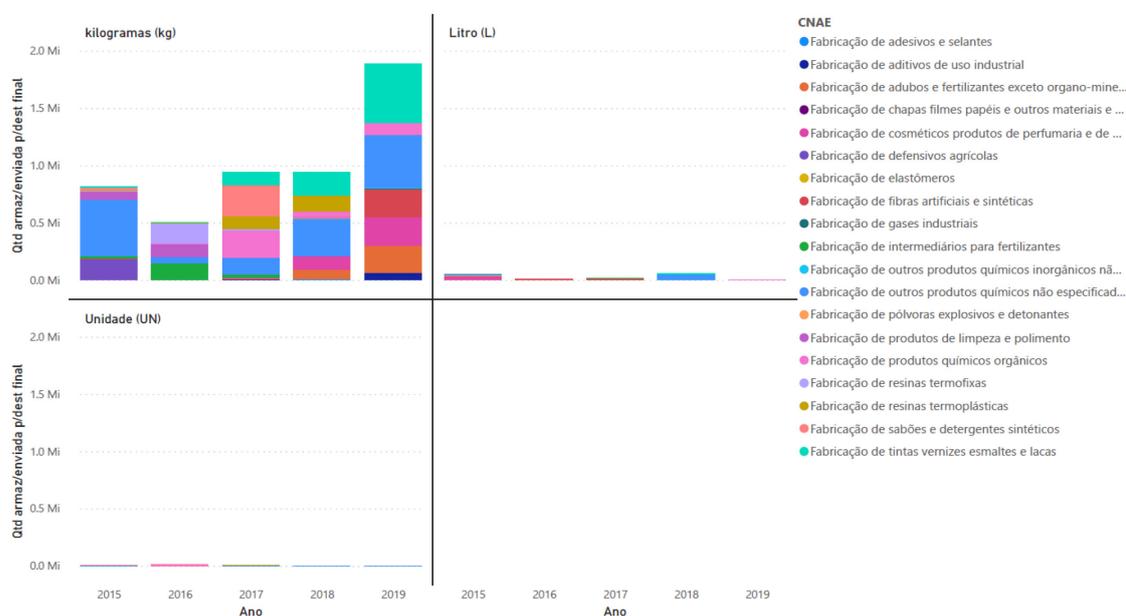
Figura 12 – Evolução da geração de resíduo de 2015 a 2019 para as indústrias químicas



Fonte: Autor “adaptado” de IBAMA (2020)

Pela Figura 12, percebe-se um aumento na geração de resíduos entre os anos de 2015 e 2018, com uma redução em 2019. É também interessante notar pela figura 13 que a quantidade reciclada no período também aumentou, no entanto, não ainda na mesma magnitude da geração. Por isso, o indicador de resíduo pressiona o CEI para valores mais baixos ao longo do período analisado.

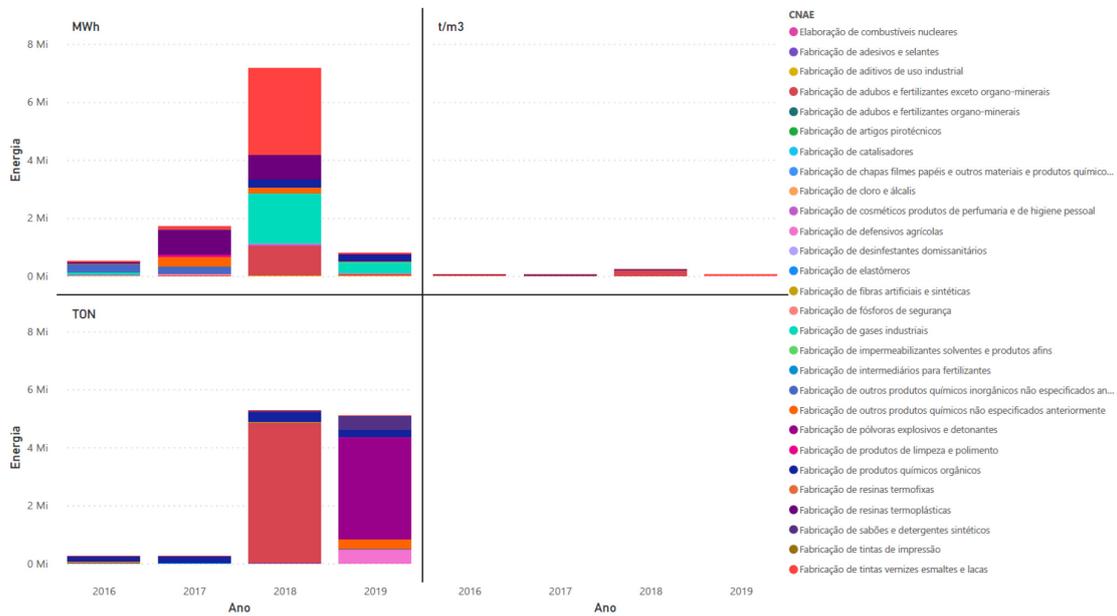
Figura 13 – Evolução da reciclagem de resíduo de 2015 a 2019 para as indústrias químicas



Fonte: Autor “adaptado” de IBAMA (2020)

Analisando a performance do CEI dentro do segmento químico para o pilar de energia (Figura 14), também se percebe um aumento do consumo entre os anos 2016-2018 e uma estabilidade para o ano de 2019. A Figura 14 mostra uma redução significativa do consumo de energia elétrica, que foi compensada por um aumento no consumo de gás natural. Esse perfil explica o comportamento do CEI para o período analisado.

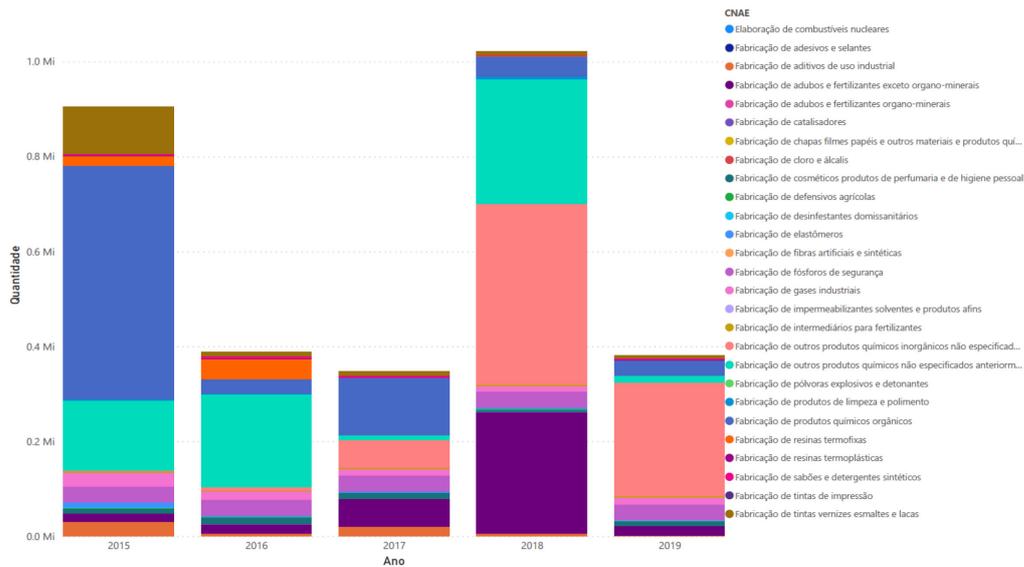
Figura 14 – Evolução do consumo de energia de 2015 a 2019 para as indústrias químicas



Fonte: Autor “adaptado” de IBAMA (2020)

A Figura 15 mostra uma estabilidade nas emissões, com exceção dos anos de 2015 e 2018. Em 2019 tenha havido uma redução das quantidades emitidas, porém não foi suficiente para compensar as maiores gerações de resíduo e consumo de energia.

Figura 15 – Evolução da emissão atmosférica de 2015-2019 para as indústrias químicas



Fonte: Autor “adaptado” de IBAMA (2020)

Um ponto importante do conceito do CEI é que ele não só leva em consideração o aspecto de redução, mas também a contribuição individual de cada CNAE para a performance do setor, isso explica a amplitude no gráfico (Figura 12). Por isso, para que haja uma melhora na performance do CEI, é necessário que haja um esforço contínuo na redução de consumo de energia elétrica em um horizonte de tempo e que os processos também demandem menos energia, expressos por meio da contribuição do consumo dentro do setor. Isso é válido também para a geração de resíduo e emissões de gases.

Foi feito um corte da tabela A1 do Apêndice para uma melhor análise da indústria de primeira e segunda geração. O corte é mostrado na Tabela 1. Percebe-se uma variabilidade dentro deste subgrupo. Outra observação é que o segmento da Fabricação de Produtos Químicos Orgânicos está sempre abaixo dos demais de primeira e segunda geração.

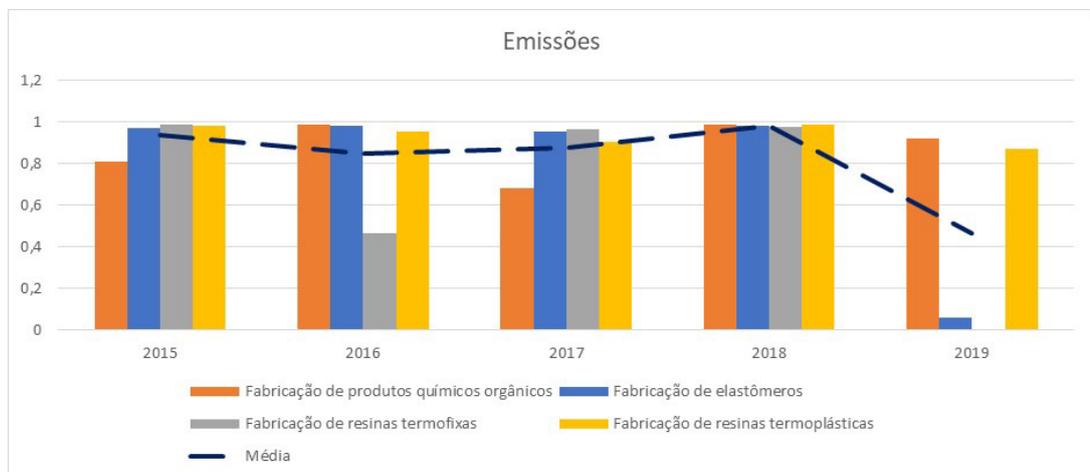
Tabela 1 – CEI para as indústrias químicas primeira e segunda geração

CNAE	2019	2018	2017	2016	2015
Fabricação de produtos químicos orgânicos	0,30	0,07	0,28	0,00	0,45
Fabricação de elastômeros	0,02	0,48	0,99	0,78	0,97
Fabricação de resinas termofixas	0,05	0,48	0,88	0,18	0,95
Fabricação de resinas termoplásticas	0,13	0,42	0,06	0,56	0,97

Fonte: Autor

Para um melhor entendimento do comportamento do CEI no período de 2015 a 2019, foi feita uma abertura do CEI em seus três pilares por meio das Figuras 16, 17 e 18.

Figura 16 – Evolução do Indicador Emissão (CEI)

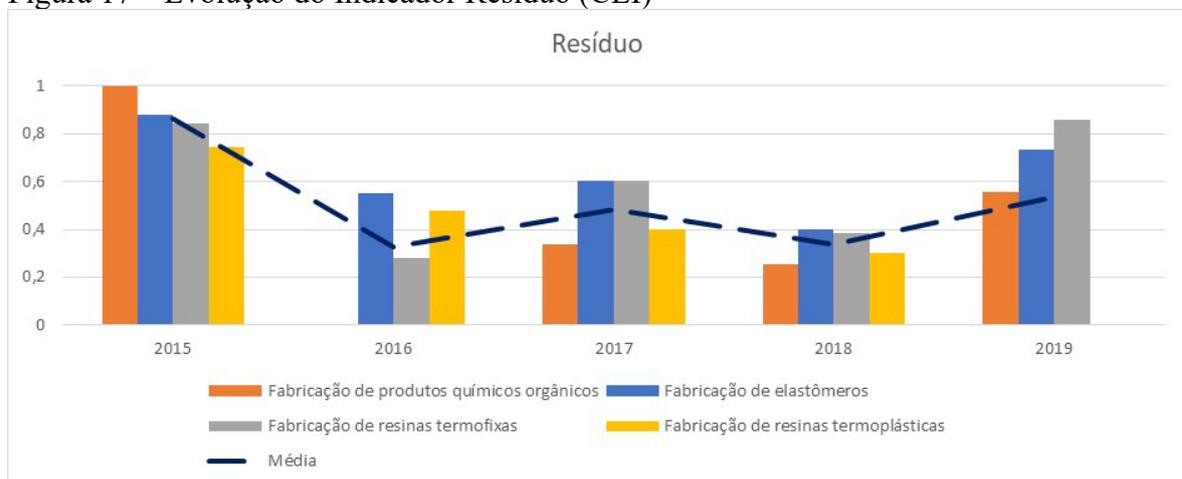


Fonte: Autor

A Figura 16 mostra perfil de comportamento com altas performances em termos em emissões de gases. Sobretudo para os fabricantes de produtos orgânicos. Comparando com a Tabela 1, os resultados do CEI estão descolados da performance em emissões. Esse comportamento sugere que esse segmento deve priorizar esse indicador, possivelmente devido as legislações ambientais às quais as empresas devem seguir.

Outra observação é que mesmo todos os segmentos tendo uma excelente performance no ano de 2018, o CEI de todos eles foram em torno de 0,48 e o segmento de fabricantes de produtos orgânicos apresentou desempenho abaixo dos. Possivelmente a performance em outros indicadores não foram suficientes para conferir um CEI melhor.

Figura 17 – Evolução do Indicador Resíduo (CEI)

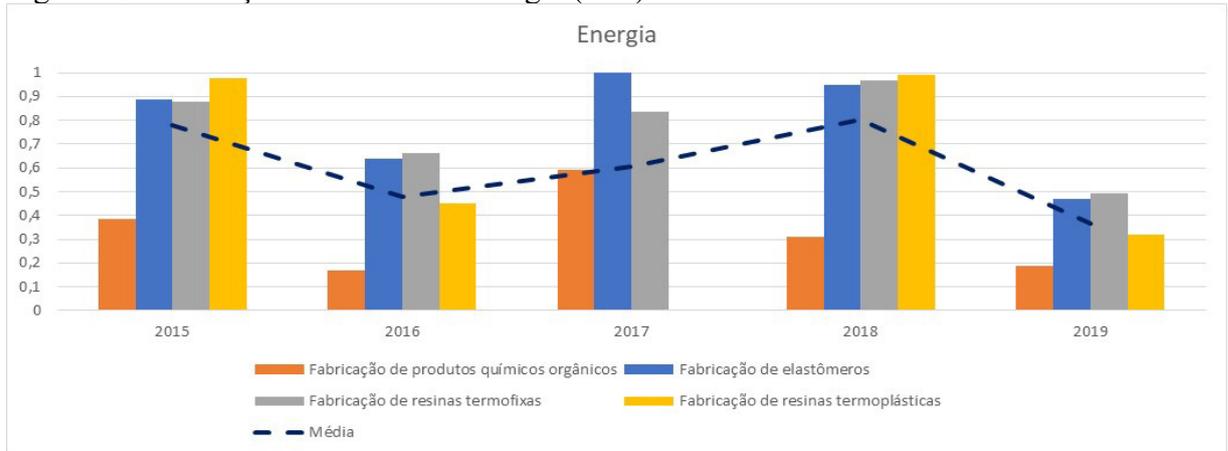


Fonte: Autor

A Figura 17 traz que a geração de resíduo para as indústrias químicas de primeira e segunda geração possui uma performance inferior que a emissões. O ano de 2015 foi o melhor ano para essa série. Assim como para as emissões, o indicador de resíduo não apresenta uma melhora ao longo dos anos. Isso é indicativo de ausência de estratégias voltadas melhoria contínua com o foco na redução na geração de resíduos ou projetos de mudanças de concepção de processos de fabricação.

Com resultados nessa magnitude, o indicador de resíduo pressiona o CEI para uma posição menos favorável.

Figura 18 – Evolução do Indicador Energia (CEI)



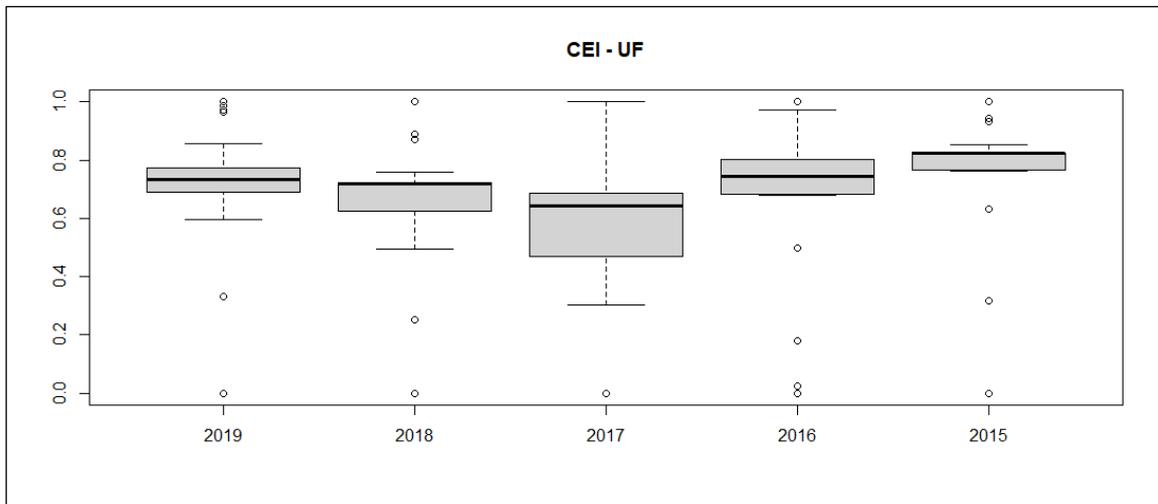
Fonte: Autor

A Figura 18 mostra o comportamento do indicador de energia para as indústrias de primeira e segunda geração. Os segmentos possuem uma performance intermediária entre as emissões e geração de resíduo. O que chama atenção é o perfil dos fabricantes de produtos orgânicos. Esse segmento está sempre abaixo dos demais. Esse comportamento, possivelmente está associada à sua posição na cadeia de suprimento. Uma vez que esse segmento é fornecedor de matérias primas para os demais segmentos da cadeia. É natural que consuma mais energia que os outros participantes da cadeia.

Esse indicador segue a mesma característica dos indicadores de emissão e geração de resíduo, ou seja, não existe uma tendência de melhora. Mais uma vez, por esse indicador não se consegue perceber uma estratégia de otimização no consumo de energia.

Indo para a perspectiva do segmento da primeira e segunda geração nos níveis estaduais, os resultados mostrados na Figura 20 mostram uma menor amplitude ao longo dos anos para esses setores, sugerindo uma uniformidade nos impactos de suas operações nos estados.

Figura 19 – Evolução do CEI por estado 2015-2019

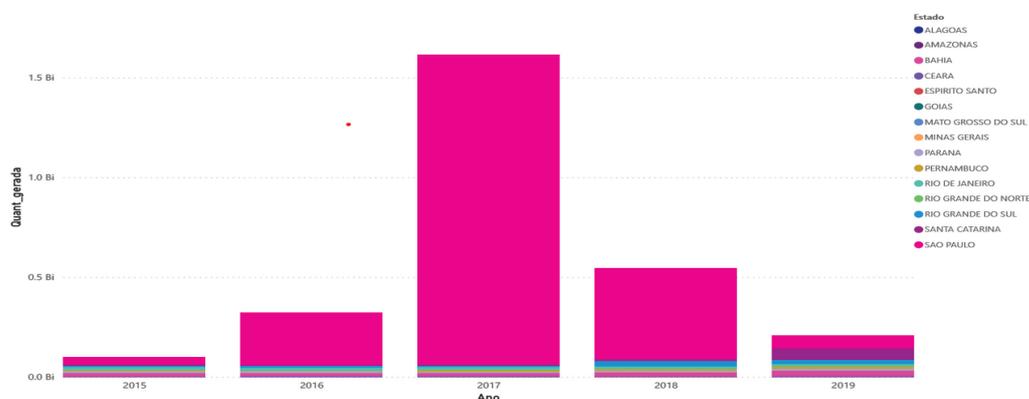


Fonte: Autor

Em conjunto com a Figura 19 para demonstrar materialidade do CEI da mesma forma que o indicador analisado dentro do setor, tem-se os gráficos 20 a 23 para entender a composição do CEI no nível estadual.

Pela Figura 23, há um aumento na geração de resíduo entre os anos de 2015 e 2017. Esse aumento concentra-se nas operações no estado da Bahia. Após o ano de 2017, há uma queda até 2019, mas para um patamar acima do ano de 2015. As operações em outros estados apresentam uma estabilidade.

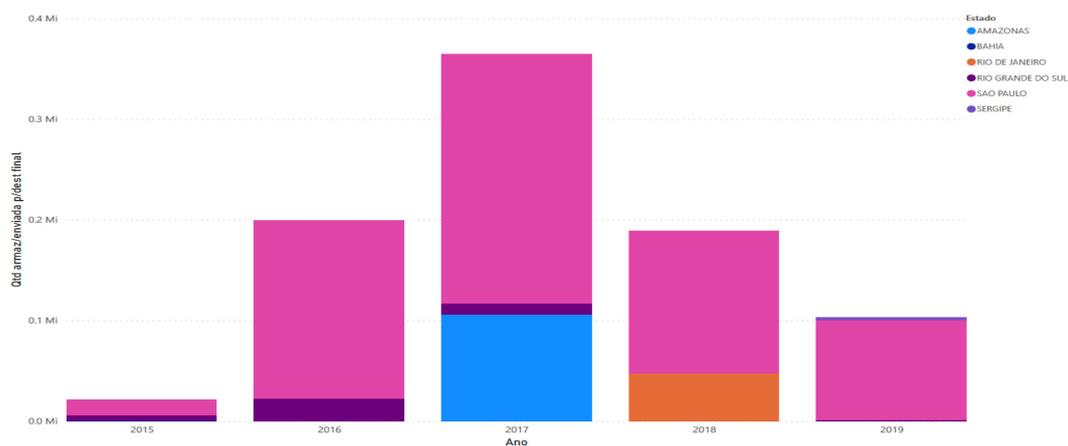
Figura 20 – Evolução da geração resíduo por estado de 2015 a 2019



Fonte: Autor “adaptado” de IBAMA (2020)

A Figura 21 indica um aumento de material reciclado entre os anos de 2015 e 2017, no entanto, com uma magnitude inferior a geração no mesmo período. Outro ponto é que as operações de reciclagem estão concentradas poucos estados brasileiros.

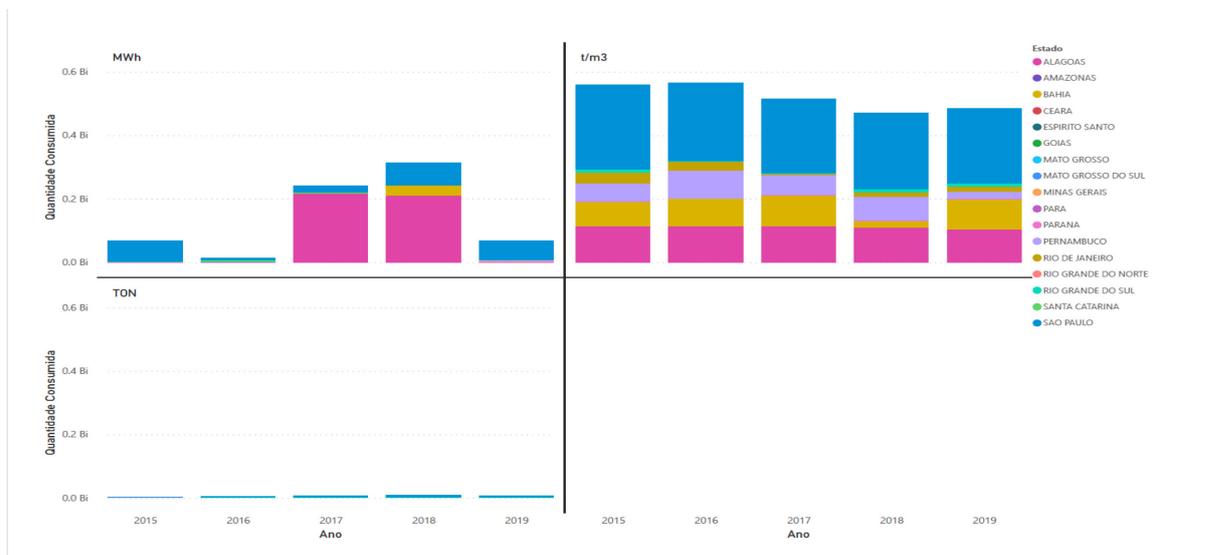
Figura 21 – Evolução da reciclagem resíduo por estado de 2015 a 2019



Fonte: Autor “adaptado” de IBAMA (2020)

A Figura 22 mostra o perfil de consumo de energia que sugere uma oscilação de consumo de energia elétrica ao longo do período analisado, com destaque para o estado de Alagoas. Para o consumo de gás natural é mais estável e já aparecem outros atores, além de Alagoas como São Paulo, Bahia e Pernambuco.

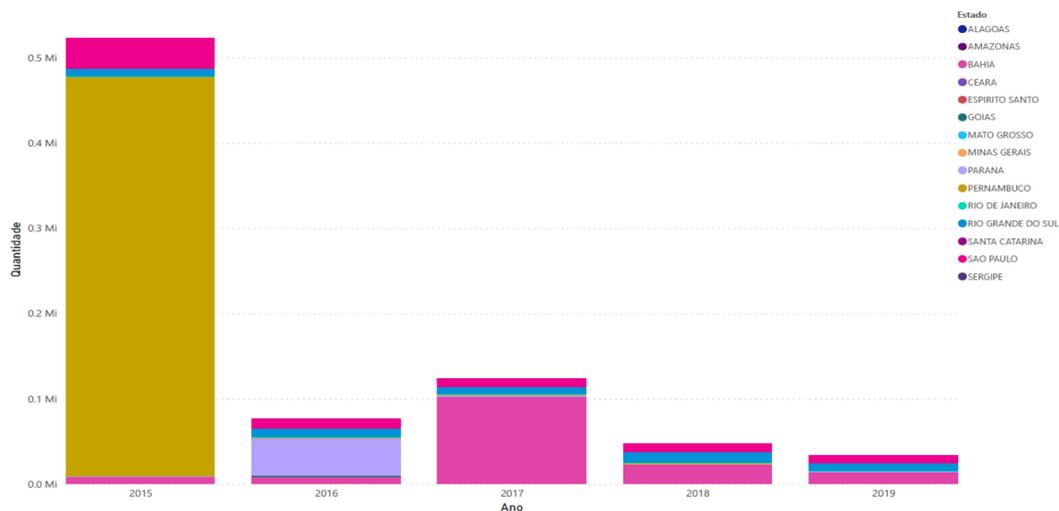
Figura 22 - Evolução consumo energia por estado de 2015 a 2019



Fonte: Autor “adaptado” de IBAMA (2020)

No que diz respeito à emissão de gases (Figura 24), o ano de 2015 possui uma contribuição forte das operações no estado de Pernambuco. A partir de 2016, sugere-se um perfil de redução nas emissões nos anos seguintes. No entanto, sempre tendo como os maiores contribuintes os estados de São Paulo, Bahia e Rio Grande do Sul onde estão localizados os três Pólos Petroquímicos do Brasil.

Figura 23 – Evolução das emissões atmosféricas por estado de 2015 a 2019



Fonte: Autor “adaptado” de IBAMA (2020)

Os perfis nas figuras 23 a 25 trazem informações sobre possíveis oportunidades por Estado ao passo que mostra uma distribuição entre os estados. Isso faz com que haja uma maior estabilidade no CEI do analisado na perspectiva dos estados e com isso uma menor amplitude no CEI para período analisado.

O CEI calculado na perspectiva estadual, em 2017, está fortemente influenciado pela maior geração de resíduo na Bahia e maior consumo de energia elétrica, pressionando o indicador. Já em 2015, o valor de emissão mais alto no estado de Pernambuco é compensado por um consumo menor de energia e geração de resíduo.

Ao analisar os valores do CEI apresentados nas Figuras 13 e 23, percebe-se que os valores do CEI calculados na perspectiva do setor são diferentes do CEI calculados para o segmento de primeira e segunda geração, levando em consideração a localização geográfica. Essa diferença é explicada pelo fato do CEI ser um indicador que usa o melhor resultado como referência para a definição do ranking e o outro está relacionada com a amostra. O primeiro conjunto de dados refere-se ao CEI dentro do setor químico. O segundo conjunto é um corte dentro do setor (indústrias de primeira e segunda geração) para uma análise entre estados.

Realizada a etapa de análise descritiva dos resultados do CEI, o próximo passo é identificar como o CEI é impactado pelos fatores de mercado/financeiros e como é impactado pelos fatores institucionais.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS EFEITOS DOS FATORES DETERMINANTES PARA A PERFORMANCE DO CEI

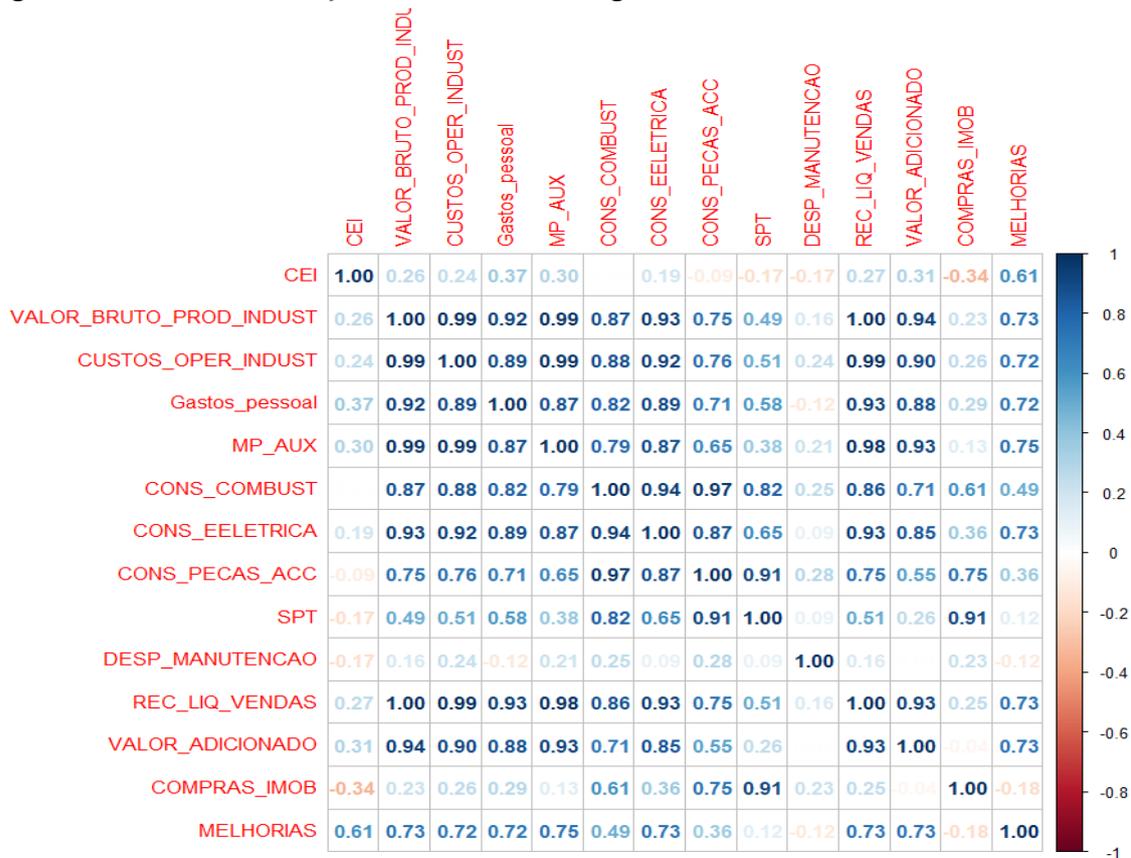
A partir dessa seção são trabalhados os resultados referentes aos dois objetivos específicos da pesquisa, ou seja, como os fatores estratégicos/mercado e os fatores institucionais determinam a performance da circularidade expressa por meio do CEI das indústrias de primeira e segunda geração.

A análise não tem a intenção de criar um modelo para predição do CEI por meio das variáveis independentes, mas identificar quais fatores estratégicos e políticos possam explicar as variações do CEI para o período analisado.

4.2.1 FATORES ESTRATÉGICOS E CEI

A seleção das variáveis independentes foi feita por meio da matriz de correlação da Figura 25. Os valores das variáveis independentes foram normalizados pelo Z score e com isso, todas as variáveis ficaram na mesma base. No entanto, como existem diferenças entre as empresas de primeira e segunda geração no que diz respeito ao tamanho de plantas, e consequentemente diferenças na necessidade de capital e matéria prima para as suas operações. Para atenuar esse efeito, utilizou-se as variáveis na forma de índices por unidade de massa produzida para padronizar transversalmente a amostra e eventuais efeitos de colinearidade (GUJARATI; PORTER, 2011).

Figura 24 - Matriz Correlação do Fatores Estratégicos



Fonte: Autor

Pela Figura 24, já se percebe uma baixa correlação entre o CEI e as variáveis individualmente que poderiam interferir no CEI e que mesmo com a padronização, é observado grau intenso de colinearidade entre as variáveis independentes.

A variável melhoria foi a de maior correlação seguida pela variável gastos com pessoas e matéria-prima. Todas essas variáveis são ligadas aos custos de operação. Para compor no modelo uma variável relacionada à venda do produto e, portanto, geração de caixa, foi escolhida a receita Líquida de Vendas. Dessa maneira, o modelo conta com variáveis independentes que satisfazem as condições de disparadores definidas por Jesus e Mendonça (2018) para os fatores estratégicos já discutidos na seção 2.6.

As variáveis foram testadas para os três modelos possíveis para regressão linear com os dados em painel: efeito pooled, efeito fixos e efeitos aleatórios.

Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 2 com as informações sobre a significância estatística dos modelos testados e coeficientes de ajustes.

Tabela 2 – Comparação dos modelos regressão dados em painel

	Modelo Pooled	Modelo Efeitos Fixos	Modelo Efeitos Aleatórios
Total Sum of Squares:	1,1371	0,90766	1,1371
Residual Sum of Squares:	0,41391	0,31825	0,41391
R-Squared:	0,636	0,64937	0,636
Adj. R-Squared:	0,428	0,0357	0,428
p-valor	0,0938	0,28261	0,01571

Fonte: Autor

Comparando os três modelos, a Tabela 2 mostra que o p-valor do modelo pooled é maior que 0,05. Essa condição indica que não há uma relação linear nos dados agrupados de acordo com esse modelo. Essa mesma característica também é observada nos dados modelados sob os efeitos fixos. No entanto, os dados agrupados de acordo com os efeitos aleatórios trazem o p-valor é menor que 0,05 e com isso, pelo menos uma variável impacta de forma significativa o modelo analisado. Analisando os modelos do ponto de vista de coeficiente de ajuste R^2 , nenhum modelo consegue explicar mais que 42% dos dados. Sendo assim, pouco preciso para predição. Porém, o objetivo é confirmar disparadores que possam contribuir com a variação do CEI ao longo dos anos para o segmento de primeira e segunda geração. O impacto de cada variável no modelo é discutido a partir dos resultados apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 – Resultados das Regressões: Dados empilhados (pooled)

Coefficiente	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)
(Intercept)	0.346256	0.070196	49.327	0.001689 **
REC_LIQ_VENDAS	-1.488129	0.762963	-19.505	0.092105 .
MELHORIAS	0.200364	0.118463	16.914	0.134606
Gastos_pessoal	0.556518	0.295323	18.844	0.101502
MP_AUX	0.923187	0.579957	15.918	0.155452
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Fonte: Autor

Pela Tabela 3, apenas a variável receita líquida de vendas possui um grau de significância menor que 0,1. Os dados agrupados de maneira que exista apenas um intercepto e coeficientes angulares que representem o conjunto não é satisfeita.

Tabela 4 – Resultados das Regressões: Efeitos fixos

Coefficiente	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)
REC_LIQ_VENDAS	-0.37855	140.030	-0.2703	0.8003
MELHORIAS	0.34250	0.19055	17.974	0.1467
Gastos_pessoal	0.76891	0.75302	10.211	0.3649
MP_AUX	-0.19729	129.463	-0.1524	0.8863
Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1				

Fonte: Autor

A tabela 4 traz as contribuições de cada variável, assim como o erro padrão, o valor Z e o p-valor para o modelo analisado sob os efeitos fixos. A regressão realizada por meio desse valor não traz nenhuma variável que impacte de forma significativa o modelo. Ou seja, a condição de que existe um único coeficiente que consiga explicar as variações não foi satisfeita.

Tabela 5 – Resultados das Regressões: Efeitos aleatórios

Coefficiente	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)
(Intercept)	0.346256	0.070196	49.327	8.111e-07 ***
REC_LIQ_VENDAS	-1.488129	0.762963	-19.505	0.05112 .
MELHORIAS	0.200364	0.118463	16.914	0.09077 .
Gastos_pessoal	0.556518	0.295323	18.844	0.05951 .
MP_AUX	0.923187	0.579957	15.918	0.11142
Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1				

Fonte: Autor

Ao analisar a Tabela 5 da mesma maneira que a Tabela 4, mostra-se com exceção do uso de matéria prima (MP_AUX) por possuir um p-valor>0,10, as demais sugerem uma influência significativa no modelo com valores entre 0,05 e 0,10.

Para essa análise não foi necessário realizar os testes de comparação, uma vez que o modelo de regressão sob efeitos aleatórios apresentou um p-valor global e mais variáveis com impactos significativos mesmo significância entre 0,05 e 0,1.

Como o objetivo não é criar um modelo preditivo e sim entender quais variáveis interferem de forma significativa, os testes cumpriram o seu papel identificando a receita líquida de vendas, melhorias, gastos com pessoas como possíveis influenciadores na explicação das variações do CEI para as indústrias químicas de primeira e segunda geração ainda que apresentando valores de p-valor entre 0,1 e 0,05. Os resultados estão sumarizados no Quadro 19.

Quadro 19 - Quadro Resumo dos resultados análise dos fatores estratégicos

Coeficiente	Fator	Impacto no CEI	Significativo
REC LIQ VENDAS	Receita Líquida de Vendas	Direção contrária	Sim (.)
MELHORIAS	Melhorias	Mesma direção	Sim (.)
Gastos pessoal	Gastos pessoal	Mesma direção	Sim (.)
MP AUX	Matéria primas e insumos	Mesma direção	Não
R2	0,41		
Modelo Regressão	Efeitos aleatórios		
Significância Modelo	<0,05		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			

Fonte: Autor

O Quadro 19 mostra a influência dos coeficientes no modelo CEI por meio dos fatores econômico selecionados como variáveis independentes. Para melhor qualificar a influência foi adotado um código: “Mesma direção” quando o coeficiente possuir sinal positivo; “Direção contrária” quando o coeficiente possuir sinal negativo. O modelo de regressão com efeitos aleatórios foi o que melhor se ajustou conseguindo explicar 41% das variações com um p-valor<0,05.

Pelo modelo mostrado no Quadro 19 a receita líquida de venda possui uma direção contrária ao CEI. Isso não é algo esperado, uma vez que maiores receitas poderiam levar uma maior geração de caixa e, portanto, uma maior capacidade de investimento por parte dos setores (ARBOLINO et al., 2019). No entanto, o modelo sugere que empresas que obtiveram uma maior geração de receita em um dado ano não são as mais possuem valores de CEI mais favoráveis .

A variável que diz respeito a melhorias apresenta o mesmo sinal que o CEI, ou seja, o segmento de empresas que mais investiram em melhorias obteve um melhor indicador de sustentabilidade. Essa variável está ligada à como as empresas investem para terem benefícios em suas operações e como as mesmas lidam com a ultrapassagem das barreiras tecnológicas como a disponibilidade e qualidade do material a ser reciclado assim como tecnologia para processar esses materiais (BECHTEL et al., 2013; KOK et al., 2013; OGHAZI E MOSTAGHEL, 2018).

A variável gastos com pessoal também apresentou o mesmo sinal de variação que o CEI. O modelo sugere que empresas que investem em pessoas tendem a ter um CEI mais favorável. A Falta de expertise em como lidar com o projeto do produto para permitir a reciclagem, ter dados a respeito do manuseio e do ciclo de vida do produto e como lidar com o processo de fabricação é muito importante. Por isso, ter recursos para investir em capacitação e pessoas é fundamental (OGHAZI E MOSTAGHEL, 2018).

O modelo baseado na receita líquida de vendas, melhorias e investimento em pessoas consegue explicar em torno de 42% das variações com um $p\text{-valor} < 0,05$ e que a receita líquida de vendas não é um único fator que dispara a circularidade e que a performance depende também de outros fatores como melhorias e investimento em pessoas. Esse comportamento encontra fundamento no trabalho trazido por Moraga et al. (2019) sobre a dificuldade em perceber uma única estratégia pelo fato dos indicadores estarem conectados entre si.

Os dados da Tabela 1 mostram que não há uma redução consistente do CEI para as indústrias de primeira e segunda geração dentro do período analisado. Por esses dados, mostram que os mesmos oscilaram em seus investimentos e melhorias ao longo do período não conseguindo mantê-los ou melhorar com o foco em uma melhor performance ano a ano.

Tal efeito Segundo Tura et al. (2019) pode ocorrer em função dos custos altos envolvidos na melhoria dos processos associado a capacidade de financeira de manter a consistência necessária para a implantação de modelos de negócios circulares.

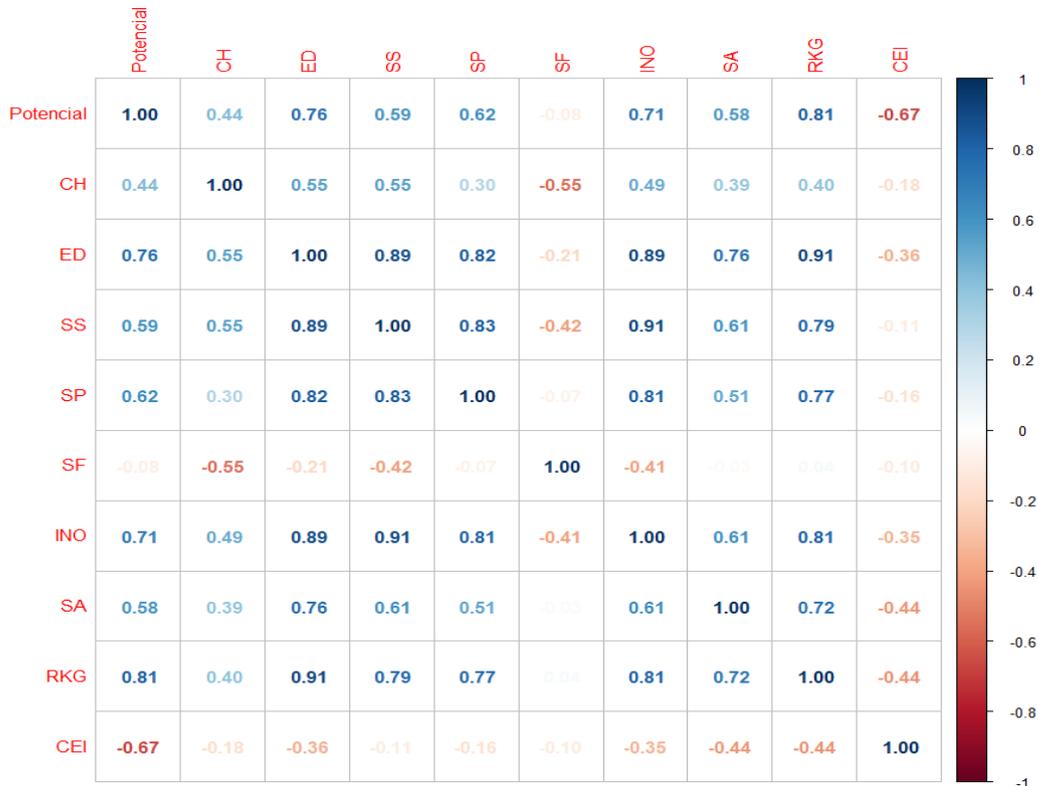
Dentro do investimento em pessoas, pode-se citar também os aspectos organizacionais e culturais como parte da mudança para modelos circulares (TURA et al., 2019). Segundo Hoffman e Bazerman (2007), a mudança é muito difícil. A reestruturação requer custos e traz riscos, além da resistência entre os gestores para a manutenção da estrutura por não perceberem os benefícios para as organizações e meio ambiente. Com isso, as empresas não conseguem aproveitar as vantagens das oportunidades em projetos que viabilizem a sustentabilidade por meio de modelos de negócios circulares (RIZOS et al, 2015; OGHAZI E MOSTAGHEL, 2018)

A volatilidade de preços, dependência de fornecedores e disponibilidade de consumo podem estimular as empresas a gerar soluções inovadoras para buscarem modelos econômicos mais sustentáveis (GENG et al., 2010).

4.2.2 FATORES INSTITUCIONAIS E CEI

De maneira análoga ao que foi feito para selecionar as variáveis independentes para os fatores estratégicos, foi utilizada a matriz de correlação baseada no Quadro 17. A correlação está na Figura 26.

Figura 25 - Matriz Correlação dos Fatores institucionais



Fonte: Autor

Pela Figura 25, a correlação do CEI sob o ângulo da localização geográfica com as variáveis independentes é maior que o primeiro modelo. A matriz de correlação mostra a variável independente potencial que representa o potencial de crescimento como a maior correlação com o CEI, embora em sinal contrário. Também se percebe a colinearidade entre as variáveis independentes.

Para satisfazer as condições de Jesus e Mendonça (2018), as variáveis escolhidas seriam o potencial de crescimento dos estados, o capital humano, a inovação, a sustentabilidade social e ambiental já discutidos na seção 2.6.

Para trabalhar os modelos, foram escolhidos os estados com maior representatividade do ponto de vista de operação de indústrias de primeira e segunda geração. Essa seleção foi feita com base nos estados listados na pesquisa Produção e Vendas dos 100 maiores produtos e/ou serviços industriais, segundo a posição nacional em receita Líquida de Vendas, com indicação da descrição dos produtos e das Unidades da Federação (IBGE, 2019).

Comparou-se os resultados entre as regressões com o modelo pooled e os modelos com efeito fixos e efeitos aleatórios na Tabela 6

Tabela 6 – Comparação modelos regressão dados em painel por estado

	Modelo Pooled	Modelo Efeitos Fixos	Modelo Efeitos Aleatórios
Total Sum of Squares:	2.0208	0,35487	2,0208
Residual Sum of Squares:	0.61355	0,25981	0,61355
R-Squared:	0.69639	0,26787	0,69639
Adj. R-Squared:	0.61205	-0,53081	0,61205
p-valor	0.00033519	0,56923	0,00000008

Fonte: Autor

A Tabela 6 mostra que os modelos pooled e com efeitos aleatórios rejeitam a hipótese nula e, portanto, possuem pelo menos uma variável que impacta a variável dependente de forma significativa.

Tabela 7 – Resultados das regressões por estado: Modelo pooled

Coefficiente	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)
(Intercept)	0.673975	0.073594	91.580	3.396e-08 ***
Potencial	-0.176200	0.054260	-32.473	0.004472 **
CH	-0.013114	0.048814	-0.2686	0.791255
SS	-0.176232	0.091035	-19.359	0.068748 .
INO	-0.153356	0.090423	-16.960	0.107115
SA	0.673975	0.073594	91.580	3.396e-08 ***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Fonte: Autor

A regressão estimada pelo modelo pooled na Tabela 7 apresentou um p-valor < 0,05, sugerindo que pelo menos uma variável impacta de forma significativa no modelo proposto. As variáveis com p-valor < 0,05 foram: potencial com o sinal contrário que o CEI e a sustentabilidade social com o mesmo sinal do CEI.

Tabela 8 – Resultados das regressões por estado : Modelo Efeitos fixos

Coeficiente	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)
Potencial	-0.024166	0.103226	-0.2341	0.8192
CH	0.283094	0.197583	14.328	0.1797
SS	-0.729984	0.449343	-16.246	0.1325
INO	0.256685	0.148708	17.261	0.1123
SA	0.108237	0.186556	0.5802	0.5735
Potencial	-0.024166	0.103226	-0.2341	0.8192
Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1				

Fonte: Autor

A regressão estimada pelo modelo fixo apresentou o p-valor > 0,05, com grande probabilidade de aceitar a hipótese nula de que não há relação significativa entre as variáveis modelada dessa forma.

Tabela 9 – Resultados das regressões por estado : Modelo Efeitos aleatórios

Coeficiente	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)
(Intercept)	0.673975	0.073594	91.580	< 2.2e-16 ***
Potencial	-0.176200	0.054260	-32.473	0.0011649 **
CH	-0.013114	0.048814	-0.2686	0.7881998
SS	0.319088	0.096049	33.221	0.0008933 ***
INO	-0.176232	0.091035	-19.359	0.0528827 .
SA	-0.153356	0.090423	-16.960	0.0898881 .
Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1				

Fonte: Autor

Já a regressão pelo modelo aleatório traz um p-valor < 0,05, rejeitando a hipótese nula e, portanto, há pelo menos uma variável que impacte de forma significativa o modelo proposto. Destaca-se novamente as variáveis como potencial, sustentabilidade social com uma significância menor que 0,05 e inovação e sustentabilidade com uma significância entre 0,05 e 0,1.

Comparando os três modelos, utilizando p-valor e R^2 da regressão como critérios iniciais, descarta-se a regressão pelo modelo de efeitos fixos e pooled. Os dados regredidos sob efeitos aleatórios apresentam uma correlação que consegue explicar 61% dos dados assim como variáveis que impactam significativamente o modelo proposto. Os resultados estão sumarizados no Quadro 20.

Quadro 20 - Quadro Resumo dos resultados da análise dos fatores institucionais

Coeficiente	Fator	Impacto no CEI	Significativo
Potencial	Potencial de Crescimento	Direção contrária	Sim(**)
CH	Conhecimento Humano	Direção contrária	Não
SS	Sustentabilidade Social	Mesma direção	Sim(***)
INO	Inovação	Direção contrária	Sim(.)
SA	Sustentabilidade ambiental	Direção contrária	Sim(.)
R2	0,61		
Modelo Regressão	Efeitos aleatórios		
Significância Modelo	<0,05		
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			

Fonte: Autor

O Quadro 20 da mesma forma que o Quadro 19 mostra o impacto dos coeficientes no modelo CEI por meio dos fatores institucionais selecionados como variáveis independentes. Para melhor qualificar o impacto foi adotado um código para esse impacto: “Mesma direção” quando o coeficiente possuir sinal positivo; “Direção contrária” quando o coeficiente possuir sinal negativo.

Sumarizando os resultados obtidos no Quadro 20 para as regressões das variáveis independentes de natureza políticas com o CEI, tem-se as variáveis potencial de crescimento, sustentabilidade social, assim como a inovação e sustentabilidade ambiental como significativas para o modelo. O modelo efeito aleatório foi o que melhor se ajustou conseguindo explicar em torno de 60% com um p-valor<0,05.

O comportamento esperado para a variável relacionada ao potencial de crescimento de mercado deveria ter uma variação na mesma direção que o CEI. Uma vez que estados com notas mais altas nesse indicador deveriam ter performances melhores no ponto de vista de CEI.

Essa tese é baseada nos trabalhos de Jesus e Mendonça (2018) e Prieto-Sandoval et al. (2018) que versam de como o estímulo ao crescimento podem vir na forma de financiamentos e redução de juros para viabilizar investimentos com o foco na sustentabilidade. Geng et al., (2009) adicionam o papel dos governos por meio e incentivos (impostos, criação de infraestrutura) e balanço adequado de impostos, regras, educação podem alavancar estados a desenvolver mercados mais circulares.

A sustentabilidade social e ambiental também deveria ter uma relação direta com o CEI. Essa variável tem pelo menos duas vertentes: relação com a qualidade de vida da população e o acesso dos jovens no mercado de trabalho. Dessa maneira, superada as questões básicas e uma sociedade traz um consumidor mais atento às questões ambientais e esse comportamento direciona o comportamento das empresas. Assim como, Segundo Rybová e Slavik (2017), os

jovens têm um comportamento mais orientado para as questões ambientais e são mais familiarizados com os conceitos de economia circular.

No entanto, o modelo trouxe uma variação do CEI em direção contrária ao potencial de crescimento e a variável sustentabilidade social e ambiental. Ou seja, estados com potencial de crescimento e sustentabilidade melhores ranqueados quanto apresentaram CEI mais desfavorável.

Esse comportamento, segundo Rizos et al. (2015) pode ter relação com a falta de uma legislação efetiva e ações dos governos. Por esses motivos que Jesus e Mendonça (2018) apontam os governos como peças chaves para o sucesso da implantação dos modelos circulares. Além disso, aparentemente ainda não houve uma percepção dos consumidores do valor criado em conjunto com a percepção social do produto conforme Cohen-Rosenthal (2000) analisa em seu trabalho sobre o papel do consumidor como fator de influência para modelos mais sustentáveis.

Em conjunto com as variáveis de potencial de crescimento e sustentabilidade social e ambiental, a variável inovação também tem um impacto significativo. Pelo modelo, avanços no indicador de inovação levam a valores CEI maiores. Markard et al. (2012) consideram que a transição para a economia circular envolve inovações em todos os campos como novos produtos, serviços, gestão e modelos organizacionais.

Para haver um ambiente inovador com o foco na sustentabilidade é importante que haja políticas e legislação adequada, assim como um mercado consumidor que esteja disposto a consumir produtos com origem de materiais reciclados ou mais caros, e empresas dispostas a repensar seu processo de produção e projetos de produto (PRIETO-SANDOVAL et al., 2018; MOHAN E KATAKOJWALA, 2020).

Geng et al., (2014) também reconhecem o papel do estado como promotor de programas com o foco nos pilares de redução de emissão e consumo de energia elétrica, ao mesmo tempo dificuldades nas organizações em vencer as barreiras internas para a migração de modelos econômicos mais sustentáveis. Por isso, a importância da análise dos disparadores do CEI sob a perspectiva interna das organizações e o papel das instituições na promoção, normatização e guia para as organizações se adaptarem a necessidades da sociedade.

O modelo baseado no potencial de crescimento, sustentabilidade social em pessoas consegue explicar em torno de 61% das variações com um p -valor $< 0,05$. No entanto, os estados com melhores performance do ponto de vista de potencial de crescimento, índices de sustentabilidade social e ambiental possuem performance de CEI menos favoráveis. Esse comportamento indica que ainda falta uma conexão entre as condições criadas pelos estados

por meio da infraestrutura oferecida e a capacidade dos segmentos em implementar melhorias e inovações visando modelos mais circulares.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo calcular um indicador de circularidade (CEI) que permitiu agregar indicadores de geração de resíduo, emissões atmosféricas e consumo de energia do setor químico brasileiro, segmentado para as indústrias de primeira e segunda geração. A metodologia utilizada foi a análise de componentes principais para extração dos fatores do indicador composto denominado CEI.

Os resultados de CEI obtidos para setores químicos de primeira e segunda geração, mostraram variações dentro do setor além de variações ao longo do período de 2015 a 2019.

Os resultados do CEI dentro uma perspectiva de localização geográfica expressa pelos estados brasileiros, mostram uma menor amplitude e um resultado com uma tendência de queda de 2015 a 2017, seguido de uma retomada até 2019. Esse efeito surge da redistribuição dos dados de entrada entre os estados que concentram as operações desse segmento, amortecendo, assim, as variações.

Estudou-se as variações do CEI para os anos de 2017 a 2019. Para tanto, adotou-se a regressão de dados em painel para correlacionar variáveis independentes que representam fatores estratégicos e políticos considerados disparadores de modelos de negócio circulares.

Para a análise foram utilizados dois modelos para esse estudo: O modelo baseado nos fatores estratégicos conseguiu explicar em torno de 41% das variações, indicando a receita líquida de vendas, melhorias e gastos com pessoas como coeficientes com impacto significativo no modelo proposto; o modelo baseado nos fatores institucionais conseguiu explicar 61% das variações do CEI, indicando o potencial de crescimento, a sustentabilidade ambiental/social e a inovação como coeficientes com impactos significativos.

O trabalho pela análise dos fatores estratégicos sugere uma falta de consistência em ações que permitissem uma melhora do CEI ao longo do período de 2017 a 2019. A análise dos fatores institucionais mostra oportunidades de sinergia entre os governos e indústrias de primeira e segunda geração.

O presente trabalho é baseado nas análises das informações fornecidas pelas organizações às instituições governamentais responsáveis pela coleta dos dados e a sua correlação com os fatores disparadores e barreiras para a implementação de modelos de negócio circulares no segmento das indústrias de primeira e segunda geração. Dessa maneira, a precisão do índice está correlacionada à precisão das informações coletadas.

Outra limitação é o horizonte de tempo para a análise dos dados associado com o grau de colinearidade das variáveis independentes. Isso traz uma imprecisão para o modelo quanto à análise de tendência do segmento. Desse modo, as conclusões desse trabalho estão limitadas aos dados e horizontes estudados e com isso analisados os disparadores que possam influenciar e explicar o comportamento para o período estudado. Os modelos aqui estabelecidos não devem ser utilizados para a predição do CEI e sim, analisados sob o contexto se os elementos trabalhados pela academia como disparadores e barreiras estão presentes nos dados divulgados pelos segmentos e refletidos nos resultados das suas operações, expressos sob a forma de geração e gestão de resíduo, consumo de energia elétrica e emissão de gases para a atmosfera.

Utilizando esse trabalho como ponto de partida para pesquisa futuras, entende-se que um trabalho mais direcionado por um survey no segmento de primeira e segunda geração seria oportuno para aprofundar o entendimento das estratégias utilizadas em conjunto com as iniciativas estão influenciando a migração para modelos de negócios circulares e como eles estão aderentes ao modelo 5R para a química circular.

O trabalho estudou o caso das empresas de primeira e segunda geração, seria interessante estudar a performance das empresas de terceira geração e avançar na cadeia de valor do segmento químico para avaliar como a mudança de perfil para um setor mais próximo do consumidor e como esse está influenciando as empresas de primeira e segunda geração.

Outra oportunidade de pesquisa é trabalhar o fator simbiose como disparador para a viabilizar os modelos de negócio circulares. A questão é como as empresas de primeira e segunda geração estão olhando para as suas localizações como uma vantagem para operarem em conjunto dentro dos conceitos de química circular.

REFERÊNCIAS

- ABIQUIM. Associação Brasileira das Indústrias Químicas. Disponível em: <https://abiquim.org.br/biblioteca/apresentacoes>. Acesso em 15 de novembro 2020
- ACERBI, Federica; TAISCH, Marco. A literature review on circular economy adoption in the manufacturing sector. **Journal of Cleaner Production**, p. 123086, 2020.
- ANG, Kun Liang et al. Sustainability framework for pharmaceutical manufacturing (PM): A review of research landscape and implementation barriers for circular economy transition. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124264, 2021.
- ANASTAS, Paul T.; BREEN, Joseph J. Design for the environment and green chemistry: the heart and soul of industrial ecology. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1-2, p. 97-102, 1997.
- ANASTAS, Paul; EGHBALLI, Nicolas. Green chemistry: principles and practice. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 1, p. 301-312, 2010.
- ARANHA, Francisco; ZAMBALDI, Felipe. **Análise fatorial em administração**. Cengage Learning, 2008.
- ARBOLINO, Roberta; BOFFARDI, Raffaele; IOPPOLO, Giuseppe. An insight into the Italian chemical sector: How to make it green and efficient. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, p. 121674, 2020.
- BONCIU, F., 2014. **The European Economy**: from a linear to a circular economy. Rom. J. Eur. Aff. 14 (4), 78e91.
- BOCKEN, Nancy; STRUPEIT, Lars; WHALEN, Katherine; NUBHOLZ, Julia. A Review and Evaluation of a Circular Business Model Innovation Tools. **Sustainability** 2019,11,2210
- BÖHRINGER, Christoph; JOCHEM, Patrick EP. Measuring the immeasurable—A survey of sustainability indices. **Ecological economics**, v. 63, n. 1, p. 1-8, 2007.
- BECHTEL, Nicola; BOJKO, Roman; VÖLKEL, Ronja. Be in the loop: circular economy & strategic sustainable development. 2013.
- BOURS, Justin et al. Addressing hazardous implications of additive manufacturing: complementing life cycle assessment with a framework for evaluating direct human health and environmental impacts. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. S1, p. S25-S36, 2017.
- CHEN, Tse-Lyn; KIM, Hynook; PAN, Shu-Yuan; TSENG, Po-Chil; LIN, Yi-Pin; CHIANG, Pen-Chi. Implementation of Green Chemistry in a Circular Economy System Towards Sustainable Development Goals: Challenges and Perspectives. **Science of the Total Environment**, 716 (2020) 136998
- CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. **Rio de Janeiro: Elsevier**, 2010.
- CUCCINIELLO, Raffaele; CESPI, Daniele. Recycling within the chemical industry: the circular economy era. **Recycling**, v. 3, n. 2, p. 22, 2018.

- DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz Lopes et al. Circular economy business models and operations management. **Journal of cleaner production**, v. 235, p. 1525-1539, 2019.
- DE JESUS, Ana; MENDONÇA, Sandro. Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy. **Ecological economics**, v. 145, p. 75-89, 2018.
- ELIA, Valerio; GNONI, Maria Grazia; TORNESE, Fabiana. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2741-2751, 2017.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF), 2015a. **Towards a Circular Economy: business Rationale for an Accelerated Transition**. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf. Acesso em: 15 novembro 2020.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF), 2019. **Circularity Indicators. An Approach to Measuring Circularity**. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/3jtvehlkbukz-9of4s4/@/preview/1?o>. Acesso em: 10 outubro 2021.
- EEA, 2016. **Circular Economy in Europe – Developing the Knowledge Base (No.2). European Environmental Agency**. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/>. Acesso em: 01 dezembro 2021.
- EASAC, 2016. **Indicators for a Circular Economy. European Academies' Science Advisory Council, Halle. Disponível em** https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Circular_Economy/EASAC_Indicators_web_complete.pdf. Acesso em 01 dezembro 2021.
- ESPOSITO, Mark; TSE, Terence; SOUFANI, Khaled. Introducing a circular economy: New thinking with new managerial and policy implications. **California Management Review**, v. 60, n. 3, p. 5-19, 2018.
- FORZA, Cipriano. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International journal of operations & production management**, 2002.
- GOMES, G., DVORSAK P, NEIL T. (2005). **Indústria Petroquímica Brasileira: Situação atual e perspectivas**. Disponível em <www.bndes.gov.br/biblioteca/digital>
- GENG, Yong et al. Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 996-1002, 2009.
- GENG, Yong et al. Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of cleaner production**, v. 23, n. 1, p. 216-224, 2012.
- GENG, Yong; TSUYOSHI, Fujita; CHEN, Xudong. Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: a case study of Kawasaki. **Journal of cleaner production**, v. 18, n. 10-11, p. 993-1000, 2010.
- GENG, Yong et al. Regional initiatives on promoting cleaner production in China: a case of Liaoning. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 15, p. 1502-1508, 2010.
- GEISSDOERFER, Martin et al. Business models and supply chains for the circular economy. **Journal of cleaner production**, v. 190, p. 712-721, 2018
- GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. Econometria básica. ed. **Porto Alegre: AMGH**, 2011.

HAUSMAN, Jerry A. Specification tests in econometrics. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 1251-1271, 1978.

HOPKINSON, Peter et al. Managing a complex global circular economy business model: opportunities and challenges. **California Management Review**, v. 60, n. 3, p. 71-94, 2018.

HORVÁTH, István T.; ANASTAS, Paul T. Introduction: green chemistry. 2007.

JOINT RESEARCH CENTRE-EUROPEAN COMMISSION et al. **Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide**. OECD publishing, 2008.

JONES, Peter Tom et al. Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 55, p. 45-55, 2013

KIRCHHERR, Julian et al. Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union (EU). **Ecological Economics**, v. 150, p. 264-272, 2018.

KEIJER, Tom; BAKKER, Vicent; SLLOTWEG, Chris J. Circular Chemistry to Enable a Circular Economy. **Nature Chemistry**. Vol 11, March 2019, 190-195

KUMMERER, Klaus; CLARK, James; ZUIM, Vânia. Rethink Chemistry for a Circular Economy. **Science Magazine**. 2020, Vol 367, Issue 6476

KOK, L.; WURPEL, G.; TEN WOLDE, A. Unleashing the power of the circular economy. 2013.

KALMYKOVA, Yuliya; ROSADO, Leonardo; PATRÍCIO, João. Resource consumption drivers and pathways to reduction: economy, policy and lifestyle impact on material flows at the national and urban scale. **Journal of Cleaner Production**, v. 132, p. 70-80, 2016.

LI, R. H.; SU, C. H. Evaluation of the circular economy development level of Chinese chemical enterprises. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1595-1601, 2012.

LOSTE, Natalia; ROLDAN, Esther; GINER, Beatriz. Is Green Chemistry a Feasible Tool for the Implementation of a Circular Economy? **Environmental Science and Pollution Research**, (2020), 27: 6215-6277

LOZANO, Rodrigo; CARPENTER, Angela; LOZANO, Francisco J. Critical reflections on the Chemical Leasing concept. **Resources, conservation and recycling**, v. 86, p. 53-60, 2014.

LOZANO, Rodrigo; CARPENTER, Angela; SATRIC, Vojislavka. Fostering green chemistry through a collaborative business model: A Chemical Leasing case study from Serbia. **Resources, conservation and recycling**, v. 78, p. 136-144, 2013.

LINDER, Marcus; WILLIANDER, Mats. Circular business model innovation: inherent uncertainties. **Business strategy and the environment**, v. 26, n. 2, p. 182-196, 2017.

MARKARD, Jochen; RAVEN, Rob; TRUFFER, Bernhard. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. **Research policy**, v. 41, n. 6, p. 955-967, 2012.

MIES, Annika; GOLD, Stefan. Mapping the social dimension of the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, p. 128960, 2021.

MORSELETTO, Piero. Targets for a Circular Economy . **Resources, Conservations and Recycling**, 153, (2020), 104553

MORAGA, Gustavo et al. Circular economy indicators: What do they measure? **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 452-461, 2019.

MOHAN, S. Venkata; KATAKOJWALA, Ranaprathap. Circular Chemistry Conceptual Framework: A way forward to Sustainability in Industry 4.0. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, p. 100434, 2020.

MOHAN, S. Venkata et al. Can circular bioeconomy be fueled by waste biorefineries—A closer look. **Bioresource Technology Reports**, v. 7, p. 100277, 2019.

MOHAN, S. Venkata et al. Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: critical review and future perspectives. **Bioresource technology**, v. 215, p. 2-12, 2016.

MCELROY, C. Robert et al. Towards a holistic approach to metrics for the 21st century pharmaceutical industry. **Green Chemistry**, v. 17, n. 5, p. 3111-3121, 2015.

MONT, Oksana et al. Innovative approaches to optimising design and use of durable consumer goods. **International Journal of Product Development**, v. 6, n. 3/4, p. 227-250, 2008.

MURILLO-LUNA, Josefina L.; GARCÉS-AYERBE, Concepción; RIVERA-TORRES, Pilar. What prevents firms from advancing in their environmental strategy?. **International Advances in Economic Research**, v. 13, n. 1, p. 35-46, 2007.

NICOLETTI, Giuseppe; SCARPETTA, Stefano; BOYLAUD, Oliver. Summary indicators of product market regulation with an extension to employment protection legislation. 1999

OGHAZI, Pejvak; MOSTAGHEL, Rana. Circular business model challenges and lessons learned—An industrial perspective. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 739, 2018.

POTTING, José et al. **Circular economy: measuring innovation in the product chain**. PBL Publishers, 2017.

PRIETO-SANDOVAL, Vanessa; JACA, Carmen; ORMAZABAL, Marta. Towards a consensus on the circular economy. **Journal of cleaner production**, v. 179, p. 605-615, 2018.

PRESTON, Felix. A global redesign? Shaping the circular economy. 2012.

RUIZ-MERCADO, Gerardo J.; SMITH, Raymond L.; GONZALEZ, Michael A. Sustainability indicators for chemical processes: I. Taxonomy. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 51, n. 5, p. 2309-2328, 2012.

RYBOVÁ, Kristýna; SLAVÍK, Jan. Ageing population of cities—Implications for circular economy in the Czech Republic. In: **2017 Smart City Symposium Prague (SCSP)**. IEEE, 2017. p. 1-5.

RIZOS, Vasileios et al. The circular economy: Barriers and opportunities for SMEs. **CEPS Working Documents**, 2015.

SAUVÉ, Sébastien; BERNARD, Sophie; SLOAN, Pamela. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, v. 17, p. 48-56, 2016.

SCHAUBROECK, Thomas; PETUCCO, Claudio; BENETTO, Enrico. Evaluate impact also per stakeholder in sustainability assessment, especially for financial analysis of circular economy initiatives. **Resour. Conserv. Recycl**, v. 150, p. 104411, 2019.

- SUÁREZ-EIROA, Brais et al. Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. **Journal of cleaner production**, v. 214, p. 952-961, 2019.
- SILVESTRI, Cecilia et al. Green chemistry contribution towards more equitable global sustainability and greater circular economy: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, p. 126137, 2021.
- TARANIC, Igor; BEHRENS, Arno; TOPI, Corrado. Understanding the circular economy in Europe, from resource efficiency to sharing platforms: The CEPS framework. **CEPS Special Reports**, n. 143, 2016.
- TURA, Nina et al. Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. **Journal of cleaner production**, v. 212, p. 90-98, 2019.
- TUKKER, Arnold. Eight types of product–service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. **Business strategy and the environment**, v. 13, n. 4, p. 246-260, 2004.
- VINANTE, Christian et al. Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework. **Journal of Cleaner Production**, p. 125090, 2020.
- SINGH, Rajesh Kumar et al. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological indicators**, v. 9, n. 2, p. 189-212, 2009.
- TESSAROLLI, FERNANDA, (2019) Análise da Indústria Petroquímica Brasileira Utilizando o Modelo das Cinco Forças de Porter, **Revista Produção & Engenharia**, V.9/N.1, p 712-727 (2019)
- ZHU, Qinghua; GENG, Yong. Drivers and barriers of extended supply chain practices for energy saving and emission reduction among Chinese manufacturers. **Journal of cleaner production**, v. 40, p. 6-12, 2013.

APÊNDICE A1- RESULTADOS CEI POR CNAE

CNAE	2019	2018	2017	2016	2015
Fabricação de produtos químicos orgânicos	0,30	0,07	0,28	0,00	0,45
Fabricação de elastômeros	0,02	0,48	0,99	0,78	0,97
Fabricação de resinas termofixas	0,05	0,48	0,88	0,18	0,95
Fabricação de resinas termoplásticas	0,13	0,42	0,06	0,56	0,97
Fabricação de defensivos agrícolas	0,56	0,35	0,79	0,59	0,91
Fabricação de desinfestantes domissanitários	0,22	0,00	0,89	0,45	0,97
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas	0,47	0,49	0,84	0,79	0,96
Fabricação de adesivos e selantes	0,28	0,45	0,75	0,70	0,96
Fabricação de aditivos de uso industrial	0,00	0,47	0,61	0,81	0,19
Fabricação de catalisadores	0,52	0,50	0,89	0,78	1,00
Fabricação de fósforos de segurança	0,55	0,49	0,87	0,83	0,96
Fabricação de pólvoras explosivos e detonantes	0,13	1,00	0,38	0,78	0,97
Fabricação de artigos pirotécnicos	0,47	0,49	0,84	0,79	0,97
Fabricação de outros produtos químicos não especificados anteriormente	0,40	0,10	0,36	0,30	0,43
Fabricação de chapas filmes papéis e outros materiais e produtos químicos para fotografia	0,48	0,50	0,84	0,82	0,98
Elaboração de combustíveis nucleares	0,47	0,68	0,69	0,78	0,99
Fabricação de adubos e fertilizantes exceto organo-minerais	1,00	0,24	0,00	0,09	0,94
Fabricação de adubos e fertilizantes organo-minerais	0,38	0,50	0,13	0,87	0,35
Fabricação de cloro e álcalis	0,15	0,50	0,83	0,78	0,94
Fabricação de gases industriais	0,54	0,46	0,45	1,00	0,54
Fabricação de intermediários para fertilizantes	0,65	0,49	0,73	0,80	0,95
Fabricação de outros produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente	0,65	0,27	0,60	0,66	0,74
Fabricação de impermeabilizantes solventes e produtos afins	0,06	0,51	0,24	0,81	0,97
Fabricação de tintas de impressão	0,49	0,50	0,96	0,71	0,99
Fabricação de tintas vernizes esmaltes e lacas	0,27	0,44	1,00	0,56	0,81
Fabricação de cosméticos produtos de perfumaria e de higiene pessoal	0,06	0,09	0,63	0,12	0,00
Fabricação de produtos de limpeza e polimento	0,26	0,77	0,79	0,51	1,00
Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	0,08	0,46	0,33	0,48	0,68

APÊNDICE A2- REDUÇÃO GERAÇÃO RESIDUO AO ANO POR CNAE

CNAE	2015	2016	2017	2018	2019
Elaboração de combustíveis nucleares	-0,48	-0,38	-0,36	-0,24	-0,40
Fabricação de adesivos e selantes	-0,42	-0,51	0,33	-0,26	-0,32
Fabricação de aditivos de uso industrial	-0,14	-0,19	1,82	-0,14	0,11
Fabricação de adubos e fertilizantes exceto organo-minerais	0,31	0,27	0,81	0,09	-0,26
Fabricação de adubos e fertilizantes organo-minerais	-0,63	-0,65	-0,39	-0,43	-0,64
Fabricação de artigos pirotécnicos	-0,49	-0,46	-0,39	-0,33	-0,65
Fabricação de catalisadores	-0,57	-0,55	-0,39	0,00	-0,52
Fabricação de chapas filmes papéis e outros materiais e produtos químicos para fotografia	-0,60	-0,60	-0,38	-0,40	-0,53
Fabricação de cloro e álcalis	-0,17	-0,41	-0,25	-0,41	0,37
Fabricação de cosméticos produtos de perfumaria e de higiene pessoal	1,08	1,74	0,12	3,49	2,41
Fabricação de defensivos agrícolas	0,66	0,66	-0,01	0,02	0,12
Fabricação de desinfestantes domissanitários	-0,55	-0,56	-0,35	-0,43	-0,57
Fabricação de elastômeros	-0,42	-0,20	-0,24	-0,35	-0,41
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas	-0,34	-0,33	-0,39	-0,33	-0,35
Fabricação de fósforos de segurança	-0,51	-0,39	-0,39	-0,41	-0,56
Fabricação de gases industriais	-0,09	-0,24	-0,27	-0,19	-0,18
Fabricação de impermeabilizantes solventes e produtos afins	-0,43	-0,65	-0,36	-0,43	-0,45
Fabricação de intermediários para fertilizantes	-0,38	-0,12	-0,33	-0,38	-0,28
Fabricação de outros produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente	-0,32	-0,42	-0,37	-0,38	-0,13
Fabricação de outros produtos químicos não especificados anteriormente	1,97	1,99	0,26	1,82	2,02
Fabricação de pólvoras explosivos e detonantes	-0,48	-0,49	1,41	-0,34	-0,60
Fabricação de produtos de limpeza e polimento	-0,38	-0,33	-0,26	-0,34	-0,40
Fabricação de produtos químicos orgânicos	3,16	1,90	0,78	1,27	1,82
Fabricação de resinas termofixas	-0,15	-0,43	-0,26	-0,21	-0,50
Fabricação de resinas termoplásticas	0,64	0,57	0,24	0,06	1,27
Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	0,19	1,02	-0,17	0,02	0,21
Fabricação de tintas de impressão	-0,57	-0,43	-0,34	-0,40	-0,64
Fabricação de tintas vernizes esmaltes e lacas	0,15	0,20	0,13	-0,36	0,07

APÊNDICE A3- % GERAÇÃO RESÍDUO/SETOR POR CNAE

CNAE	2015	2016	2017	2018	2019
Elaboração de combustíveis nucleares	-0,05	-0,17	1,27	-1,43	-0,22
Fabricação de adesivos e selantes	0,16	-0,14	-0,18	0,25	-0,11
Fabricação de aditivos de uso industrial	0,19	-0,08	-0,18	0,28	-0,01
Fabricação de adubos e fertilizantes exceto organo-minerais	0,19	1,02	1,39	-1,62	-0,50
Fabricação de adubos e fertilizantes organo-minerais	0,18	-0,17	-0,19	0,25	-0,10
Fabricação de artigos pirotécnicos	0,18	-0,17	-0,19	0,25	-0,11
Fabricação de catalisadores	0,03	-0,18	-0,19	0,25	-0,11
Fabricação de chapas filmes papéis e outros materiais e produtos químicos para fotografia	0,18	-0,17	-0,18	0,24	-0,11
Fabricação de cloro e álcalis	0,18	-0,18	-0,19	0,24	1,78
Fabricação de cosméticos produtos de perfumaria e de higiene pessoal	0,05	-0,82	-0,17	0,59	-0,77
Fabricação de defensivos agrícolas	0,29	-0,20	-0,19	0,26	0,23
Fabricação de desinfestantes domissanitários	0,18	-0,03	-0,19	0,25	-0,11
Fabricação de elastômeros	0,18	0,01	-0,20	0,25	-0,09
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas	0,18	-0,19	-0,20	0,26	-0,11
Fabricação de fósforos de segurança	0,31	-0,20	-0,20	0,25	-0,02
Fabricação de gases industriais	0,17	-0,10	-0,19	0,25	-0,11
Fabricação de impermeabilizantes solventes e produtos afins	0,31	-0,55	-0,19	0,25	0,58
Fabricação de intermediários para fertilizantes	0,25	-0,34	-0,08	0,23	-1,09
Fabricação de outros produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente	0,19	-0,23	-0,19	0,25	-0,01
Fabricação de outros produtos químicos não especificados anteriormente	0,29	-0,18	-0,11	0,31	-0,36
Fabricação de pólvoras explosivos e detonantes	0,31	0,07	2,30	-3,64	-0,23
Fabricação de produtos de limpeza e polimento	0,18	-0,16	-0,16	0,22	0,37
Fabricação de produtos químicos orgânicos	-5,05	2,05	0,56	0,26	-0,80
Fabricação de resinas termofixas	0,11	-0,58	-0,19	0,27	-0,48
Fabricação de resinas termoplásticas	0,18	-0,11	-0,19	0,24	1,44
Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	0,18	1,91	-0,24	0,29	1,18
Fabricação de tintas de impressão	0,16	0,43	-1,27	0,25	-0,12
Fabricação de tintas vernizes esmaltes e lacas	0,29	-0,55	-0,28	0,25	-0,02

APÊNDICE A4- % RECICLADO/RECICLADO SETOR POR CNAE

CNAE	2015	2016	2017	2018	2019
Elaboração de combustíveis nucleares					
Fabricação de adesivos e selantes					
Fabricação de aditivos de uso industrial	-0,37		0,01		-0,05
Fabricação de adubos e fertilizantes exceto organo-minerais	-0,37	-0,15	-0,58		0,03
Fabricação de adubos e fertilizantes organo-minerais					
Fabricação de artigos pirotécnicos					
Fabricação de catalisadores					
Fabricação de chapas filmes papéis e outros materiais e produtos químicos para fotografia					
Fabricação de cloro e álcalis					
Fabricação de cosméticos produtos de perfumaria e de higiene pessoal					0,49
Fabricação de defensivos agrícolas	0,37				-0,37
Fabricação de desinfestantes domissanitários					
Fabricação de elastômeros	-0,37				
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas					
Fabricação de fósforos de segurança					
Fabricação de gases industriais	-0,36	-0,14			-0,35
Fabricação de impermeabilizantes solventes e produtos afins					
Fabricação de intermediários para fertilizantes	-0,25		-0,03		
Fabricação de outros produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente					-0,34
Fabricação de outros produtos químicos não especificados anteriormente	3,26	0,15	0,71	0,90	-0,37
Fabricação de pólvoras explosivos e detonantes			-0,03	-0,15	
Fabricação de produtos de limpeza e polimento	-0,32	0,88		-1,14	
Fabricação de produtos químicos orgânicos	-0,36	-0,12	-0,02		-0,16
Fabricação de resinas termofixas	-0,31	0,82			
Fabricação de resinas termoplásticas	-0,33	-0,13	0,42	0,38	
Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	-0,24	-0,16	1,09		
Fabricação de tintas de impressão					
Fabricação de tintas vernizes esmaltes e lacas	-0,35	-1,15	-1,56		1,11

APÊNDICE A5- INDICADOR WASTE POR CNAE

CNAE	2015	2016	2017	2018	2019
Elaboração de combustíveis nucleares	-0,28	-0,27	0,39	-0,79	-0,35
Fabricação de adesivos e selantes	-0,18	-0,31	0,09	0,06	-0,24
Fabricação de aditivos de uso industrial	-0,08	-0,16	0,90	0,12	0,09
Fabricação de adubos e fertilizantes exceto organo-minerais	0,09	0,48	0,52	-0,77	-0,30
Fabricação de adubos e fertilizantes organo-minerais	-0,26	-0,37	-0,30	0,01	-0,36
Fabricação de artigos pirotécnicos	-0,20	-0,30	-0,30	0,04	-0,37
Fabricação de catalisadores	-0,29	-0,34	-0,30	0,04	-0,32
Fabricação de chapas filmes papéis e outros materiais e produtos químicos para fotografia	-0,25	-0,35	-0,29	0,01	-0,32
Fabricação de cloro e álcalis	-0,08	-0,29	-0,23	0,01	1,27
Fabricação de cosméticos produtos de perfumaria e de higiene pessoal	0,35	0,22	-0,02	1,48	0,99
Fabricação de defensivos agrícolas	0,62	0,11	-0,10	0,16	-0,05
Fabricação de desinfestantes domissanitários	-0,23	-0,28	-0,28	0,00	-0,34
Fabricação de elastômeros	-0,19	-0,12	-0,22	0,03	-0,27
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas	-0,15	-0,26	-0,30	0,04	-0,26
Fabricação de fósforos de segurança	-0,17	-0,29	-0,30	0,01	-0,28
Fabricação de gases industriais	-0,07	-0,20	-0,23	0,08	-0,37
Fabricação de impermeabilizantes solventes e produtos afins	-0,14	-0,54	-0,28	0,00	0,16
Fabricação de intermediários para fertilizantes	-0,09	-0,25	-0,23	0,01	-0,87
Fabricação de outros produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente	-0,13	-0,31	-0,29	0,02	-0,27
Fabricação de outros produtos químicos não especificados anteriormente	2,55	0,96	0,77	1,53	0,29
Fabricação de pólvoras explosivos e detonantes	-0,16	-0,20	1,78	-2,20	-0,43
Fabricação de produtos de limpeza e polimento	-0,16	1,01	-0,22	-1,18	0,04
Fabricação de produtos químicos orgânicos	-0,58	1,59	0,66	0,58	0,12
Fabricação de resinas termofixas	-0,08	0,72	-0,23	0,09	-0,55
Fabricação de resinas termoplásticas	0,23	0,11	0,45	0,41	1,38
Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	0,10	1,16	0,86	0,18	0,81
Fabricação de tintas de impressão	-0,24	-0,02	-0,77	0,02	-0,37
Fabricação de tintas vernizes esmaltes e lacas	0,07	-1,50	-1,54	0,03	1,17

APÊNDICE A6- INDICADOR REDUÇÃO CONSUMO ENERGIA POR CNAE

CNAE	2015	2016	2017	2018	2019
Fabricação de adesivos e selantes	-0,07	0,05	-0,01	-0,17	0,11
Fabricação de aditivos de uso industrial	0,13	0,08	-0,02	-0,11	0,11
Fabricação de adubos e fertilizantes exceto organo-minerais	-0,30	0,85	0,14	2,38	- 2,58
Fabricação de adubos e fertilizantes organo-minerais	-0,06	0,05	-0,02	-0,17	0,11
Fabricação de artigos pirotécnicos	-0,06	0,05	-0,02	-0,17	0,11
Fabricação de catalisadores	-0,06	0,05	0,00	-0,35	0,15
Fabricação de chapas filmes papéis e outros materiais e produtos químicos para fotografia	-0,06	0,05	-0,02	-0,18	0,11
Fabricação de cloro e álcalis	-0,06	0,03	-0,03	-0,36	0,02
Fabricação de cosméticos produtos de perfumaria e de higiene pessoal	1,12	- 1,09	0,24	0,33	0,49
Fabricação de defensivos agrícolas	-0,30	0,06	0,04	-0,22	0,21
Fabricação de desinfestantes domissanitários	-0,06	0,05	-0,03	-0,18	0,11
Fabricação de elastômeros	-0,08	0,05	-0,37	-0,13	0,13
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas	-0,06	0,05	-0,02	-0,17	0,11
Fabricação de fósforos de segurança	-0,06	0,05	-0,02	-0,17	0,11
Fabricação de gases industriais	0,59	- 1,29	-0,11	0,00	- 0,09
Fabricação de impermeabilizantes solventes e produtos afins	-0,08	0,06	-0,01	-0,18	0,12
Fabricação de intermediários para fertilizantes	-0,06	0,05	-0,02	-0,17	0,11
Fabricação de outros produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente	0,07	- 0,13	-0,08	0,28	- 0,41
Fabricação de outros produtos químicos não especificados anteriormente	-0,31	0,14	0,32	0,06	0,43
Fabricação de pólvoras explosivos e detonantes	-0,06	0,04	-0,02	-0,17	0,95
Fabricação de produtos de limpeza e polimento	-0,08	0,05	0,06	-0,18	0,11
Fabricação de produtos químicos orgânicos	0,09	0,72	-0,67	1,57	- 1,00
Fabricação de resinas termofixas	-0,06	0,05	-0,06	-0,18	0,11
Fabricação de resinas termoplásticas	-0,31	0,05	0,81	-1,04	0,11
Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	0,18	- 0,03	-0,20	-0,13	0,46
Fabricação de tintas de impressão	-0,08	0,06	-0,04	-0,17	0,11
Fabricação de tintas vernizes esmaltes e lacas	0,08	- 0,16	0,15	0,00	- 0,32

APÊNDICE A7- INDICADOR % CONSUMO ENERGIA/SETOR POR CNAE

CNAE	2015	2016	2017	2018	2019
Fabricação de adesivos e selantes	-0,31	-0,40	-0,39	-0,33	-0,36
Fabricação de aditivos de uso industrial	0,08	-0,26	-0,42	-0,26	-0,25
Fabricação de adubos e fertilizantes exceto organo-minerais	0,04	1,96	0,62	2,60	-0,17
Fabricação de adubos e fertilizantes organo-minerais	-0,32	-0,37	-0,36	-0,34	-0,36
Fabricação de artigos pirotécnicos					
Fabricação de catalisadores	-0,31	-0,28	-0,29	-0,29	-0,29
Fabricação de chapas filmes papéis e outros materiais e produtos químicos para fotografia	-0,31	-0,37	-0,35	-0,33	-0,36
Fabricação de cloro e álcalis	-0,29	-0,05	-0,14	-0,12	-0,20
Fabricação de cosméticos produtos de perfumaria e de higiene pessoal	1,75	0,02	0,12	0,23	0,27
Fabricação de defensivos agrícolas	-0,42	-0,27	-0,37	-0,34	-0,12
Fabricação de desinfestantes domissanitários	-0,31	-0,37	-0,35	-0,34	-0,36
Fabricação de elastômeros	-0,31	-0,18	-0,28	-0,23	-0,23
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas	-0,31	-0,37		-0,34	-0,37
Fabricação de fósforos de segurança					
Fabricação de gases industriais	0,45	-0,10	-0,35	-0,07	0,31
Fabricação de impermeabilizantes solventes e produtos afins	-0,31	-0,36	-0,35	-0,41	-0,43
Fabricação de intermediários para fertilizantes				-0,14	-0,14
Fabricação de outros produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente	0,58	0,99	0,56	0,22	0,13
Fabricação de outros produtos químicos não especificados anteriormente	-0,11	0,09	0,44	0,03	0,17
Fabricação de pólvoras explosivos e detonantes	-0,31	-0,37	-0,36	-0,34	1,23
Fabricação de produtos de limpeza e polimento	-0,41	-0,36	-0,28	-0,33	-0,34
Fabricação de produtos químicos orgânicos	1,94	1,27	2,59	1,68	2,19
Fabricação de resinas termofixas	-0,31	-0,30	-0,33	-0,30	-0,32
Fabricação de resinas termoplásticas	-0,28	0,80	1,42	0,49	0,51
Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	0,43	-0,23	-0,33	-0,26	0,45
Fabricação de tintas de impressão	-0,31		-0,35	-0,34	-0,37
Fabricação de tintas vernizes esmaltes e lacas	-0,03	-0,13	-0,06	0,19	-0,22

APÊNDICE A8- INDICADOR ENERGIA POR CNAE

CNAE	2015	2016	2017	2018	2019
Fabricação de adesivos e selantes	0,26	0,47	0,44	0,25	0,56
Fabricação de aditivos de uso industrial	1,62	0,79	0,34	0,45	0,76
Fabricação de adubos e fertilizantes exceto organo-minerais	0,03	6,52	2,56	8,70	-3,51
Fabricação de adubos e fertilizantes organo-minerais	0,30	0,55	0,44	0,23	0,55
Fabricação de artigos pirotécnicos	0,31	0,71	0,47	0,34	0,80
Fabricação de catalisadores	0,30	0,69	0,62	0,00	0,74
Fabricação de chapas filmes papéis e outros materiais e produtos químicos para fotografia	0,31	0,53	0,44	0,23	0,55
Fabricação de cloro e álcalis	0,37	1,05	0,71	0,26	0,69
Fabricação de cosméticos produtos de perfumaria e de higiene pessoal	7,88	-1,63	2,24	1,88	2,27
Fabricação de defensivos agrícolas	-0,70	0,74	0,66	0,15	1,14
Fabricação de desinfestantes domissanitários	0,30	0,54	0,40	0,23	0,56
Fabricação de elastômeros	0,26	0,87	-0,89	0,46	0,83
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas	0,31	0,53	0,47	0,23	0,55
Fabricação de fósforos de segurança	0,32	0,71	0,47	0,34	0,80
Fabricação de gases industriais	3,87	-2,33	0,08	0,91	1,39
Fabricação de impermeabilizantes solventes e produtos afins	0,23	0,57	0,50	0,11	0,46
Fabricação de intermediários para fertilizantes	0,33	0,71	0,47	0,52	0,94
Fabricação de outros produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente	2,25	2,42	1,57	1,78	0,56
Fabricação de outros produtos químicos não especificados anteriormente	-0,22	1,55	3,03	1,15	2,00
Fabricação de pólvoras explosivos e detonantes	0,29	0,52	0,42	0,23	4,69
Fabricação de produtos de limpeza e polimento	0,09	0,54	0,90	0,23	0,60
Fabricação de produtos químicos orgânicos	4,59	5,02	2,13	6,03	3,17
Fabricação de resinas termofixas	0,32	0,66	0,31	0,27	0,64
Fabricação de resinas termoplásticas	-0,50	2,53	6,52	0,07	2,06
Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	2,37	0,59	-0,26	0,41	2,54
Fabricação de tintas de impressão	0,24	0,74	0,38	0,23	0,55
Fabricação de tintas vernizes esmaltes e lacas	1,27	0,43	1,59	1,30	0,09

APÊNDICE A9- INDICADOR EMISSÕES POR CNAE

CNAE	2015	2016	2017	2018	2019
Fabricação de adesivos e selantes	-0,17	0,07	-0,23	0,01	0,29
Fabricação de aditivos de uso industrial	2,03	-0,45	-0,31	-0,26	0,73
Fabricação de adubos e fertilizantes exceto organo-minerais	-0,23	-0,18	0,72	-0,22	-0,46
Fabricação de adubos e fertilizantes organo-minerais	2,14	-0,41	1,28	-0,22	0,12
Fabricação de catalisadores	-0,23	-0,21	-0,39	-0,19	-0,23
Fabricação de cloro e álcalis	-0,22	-0,33	-0,31	-0,24	-0,05
Fabricação de cosméticos produtos de perfumaria e de higiene pessoal	-0,26	1,90	-0,31	-0,26	-0,04
Fabricação de defensivos agrícolas	-0,23	0,01	-0,29	0,51	-0,50
Fabricação de desinfestantes domissanitários	-0,20	0,79	-0,36	2,84	0,47
Fabricação de elastômeros	-0,19	-0,41	-0,32	-0,21	0,81
Fabricação de fósforos de segurança	-0,22	-0,41	-0,32	-0,21	-0,32
Fabricação de gases industriais	-0,24	-0,24	0,65	-0,26	-0,38
Fabricação de impermeabilizantes solventes e produtos afins	-0,24	-0,10	1,03	-0,22	0,64
Fabricação de intermediários para fertilizantes	-0,23	-0,35	-0,05	-0,22	-0,33
Fabricação de outros produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente	-0,25	-0,29	0,02	0,67	-0,49
Fabricação de outros produtos químicos não especificados anteriormente	-0,21	0,01	-0,30	-0,15	-0,46
Fabricação de produtos de limpeza e polimento	-0,27	-0,41	-0,28	-0,23	0,22
Fabricação de produtos químicos orgânicos	0,19	-0,42	0,14	-0,23	-0,39
Fabricação de resinas termofixas	-0,24	0,80	-0,33	-0,20	0,90
Fabricação de resinas termoplásticas	-0,22	-0,34	-0,23	-0,22	-0,32
Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	-0,26	-0,45	0,45	-0,25	-0,06
Fabricação de tintas vernizes esmaltes e lacas	-0,25	1,43	-0,24	-0,23	-0,15

APÊNDICE A10- RESULTADOS CEI POR UF

Estado	2019	2018	2017	2016	2015
SAO PAULO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RIO DE JANEIRO	0,63	0,69	0,79	0,68	0,76
MINAS GERAIS	0,33	0,87	0,30	0,81	0,81
PARANA	0,99	0,49	0,79	0,02	0,77
RIO GRANDE DO SUL	0,77	0,69	0,79	0,92	0,94
PERNAMBUCO	0,75	0,76	0,69	0,97	0,32
BAHIA	0,97	1,00	0,49	0,86	0,77
SANTA CATARINA	0,86	0,89	1,00	0,18	0,85
CEARA	0,96	0,72	0,64	0,80	0,63
MATO GROSSO DO SUL	0,62	0,25	0,81	0,68	0,82
GOIAS	1,00	0,67	0,34	0,50	0,93
ESPIRITO SANTO	0,69	0,59	0,44	1,00	1,00
ALAGOAS	0,70	0,62	0,45	0,78	0,77
MATO GROSSO	0,59	0,72	0,65	0,69	0,83
AMAZONAS	0,74	0,72	0,47	0,75	0,82
SERGIPE	0,73	0,61	0,64	0,76	0,82
RIO GRANDE DO NORTE	0,75	0,76	0,66	0,74	0,82
DISTRITO FEDERAL	0,73	0,72	0,64	0,74	0,82
PARAIBA	0,73	0,72	0,64	0,74	0,82
PARA	0,74	0,72	0,64	0,74	0,82
PIAUI	0,73	0,72	0,64	0,74	0,82

APÊNDICE A11- REDUÇÃO GERAÇÃO RESIDUO AO ANO POR UF

Estado	2015	2016	2017	2018	2019
AMAZONAS					
BAHIA	0,28	0,07	0,71	-0,12	0,67
CEARA				-0,45	-0,68
ESPIRITO SANTO	-0,63	-0,61	-0,44	-0,43	-0,62
GOIAS	-0,62	-0,53		-0,43	-0,47
MATO GROSSO					
MATO GROSSO DO SUL					
MINAS GERAIS	-0,22	-0,30	-0,33	0,37	0,18
PARANA	-0,11	-0,27	-0,43	-0,25	-0,41
PERNAMBUCO	-0,45	-0,45	-0,42	-0,36	-0,42
RIO DE JANEIRO	-0,07	0,06	-0,18	-0,07	0,11
RIO GRANDE DO SUL	0,23	-0,01	-0,14	-0,17	0,13
SANTA CATARINA	-0,58		-0,46	-0,39	-0,54
SAO PAULO	2,65	2,60	2,49	2,99	2,82
SERGIPE					
AMAZONAS					
BAHIA	0,28	0,07	0,71	-0,12	0,67
CEARA				-0,45	-0,68
ESPIRITO SANTO	-0,63	-0,61	-0,44	-0,43	-0,62
GOIAS	-0,62	-0,53		-0,43	-0,47
MATO GROSSO					
MATO GROSSO DO SUL					
MINAS GERAIS	-0,22	-0,30	-0,33	0,37	0,18
PARANA	-0,11	-0,27	-0,43	-0,25	-0,41
PERNAMBUCO	-0,45	-0,45	-0,42	-0,36	-0,42

APÊNDICE A12- % GERAÇÃO RESÍDUO/SETOR POR UF

Estado	2015	2016	2017	2018	2019
AMAZONAS	0,25	-0,29	-0,06	0,02	0,06
BAHIA	0,23	-1,28	-0,01	-0,11	0,10
CEARA	0,25	-0,28	-0,03	0,01	0,04
ESPIRITO SANTO	0,24	-0,26	-0,06	0,02	0,09
GOIAS	0,26	0,13	-0,04	0,00	0,15
MATO GROSSO	0,19	0,25	-0,05	0,01	1,08
MATO GROSSO DO SUL	0,25	-0,24	-0,03	0,01	0,06
MINAS GERAIS	0,24	-0,20	0,16	-0,07	0,03
PARANA	0,28	-0,11	-0,05	0,03	0,03
PERNAMBUCO	0,32	-0,31	-0,15	-0,01	0,07
RIO DE JANEIRO	0,24	0,83	-0,05	0,02	0,06
RIO GRANDE DO SUL	0,34	-0,32	-0,07	0,01	0,09
SANTA CATARINA	0,26	0,02	-1,82	0,01	0,07
SAO PAULO	-3,61	2,43	2,29	0,01	-2,94
SERGIPE	0,27	-0,38	-0,04	0,02	1,00

APÊNDICE A13- % RECICLADO/RECICLADO SETOR POR UF

Estado	2015	2016	2017	2018	2019
AMAZONAS			0,71		
BAHIA					
CEARA					
ESPIRITO SANTO					
GOIAS					
MATO GROSSO					
MATO GROSSO DO SUL					
MINAS GERAIS					
PARANA					
PERNAMBUCO					
RIO DE JANEIRO					
RIO GRANDE DO SUL	-0,71	-0,71	-0,71		-0,59
SANTA CATARINA					
SAO PAULO	0,71	0,71			1,15
SERGIPE					-0,56

APÊNDICE A14- INDICADOR WASTE POR UF

Estado	2015	2016	2017	2018	2019
AMAZONAS	0,02	-0,20	0,82	0,07	-0,19
BAHIA	0,20	-0,45	0,33	-1,50	0,24
CEARA	0,02	-0,20	-0,12	-0,06	-0,31
ESPIRITO SANTO	-0,18	-0,33	-0,18	0,04	-0,27
GOIAS	-0,17	-0,14	-0,12	-0,19	-0,18
MATO GROSSO	0,00	0,01	-0,13	0,06	0,19
MATO GROSSO DO SUL	0,02	-0,18	-0,12	0,06	-0,20
MINAS GERAIS	0,00	-0,18	-0,04	-0,68	0,02
PARANA	0,05	-0,13	-0,17	0,24	-0,20
PERNAMBUCO	-0,08	-0,28	-0,20	-0,30	-0,20
RIO DE JANEIRO	0,06	0,39	-0,06	0,22	0,01
RIO GRANDE DO SUL	-0,67	-1,04	-1,00	0,03	0,00
SANTA CATARINA	-0,15	-0,08	-0,90	-0,03	-0,24
SAO PAULO	0,83	3,05	2,02	1,96	1,17
SERGIPE	0,03	-0,23	-0,12	0,08	0,16

APÊNDICE A15- INDICADOR REDUÇÃO CONSUMO ENERGIA POR UF

Estado	2015	2016	2017	2018	2019
ALAGOAS	-0,14	0,10	1,20	-0,19	-0,22
AMAZONAS	-0,16	0,10	0,02	-0,13	0,20
BAHIA	-0,32	0,14	0,05	-0,19	-0,56
CEARA	-0,16	0,10	-0,01	0,25	-0,15
DISTRITO FEDERAL	-0,16	0,10	-0,01	-0,12	0,19
ESPIRITO SANTO	-0,14	0,09	-0,01	-0,12	0,19
GOIAS	-0,17	0,10	0,23	-0,12	0,15
MATO GROSSO	-0,18	0,10	-0,01	-0,12	0,20
MATO GROSSO DO SUL	-0,16	0,10	-0,01	-0,12	0,19
MINAS GERAIS	-0,17	0,07	0,12	-0,18	0,30
PARA	-0,16	0,10	-0,01	-0,12	0,19
PARAIBA	-0,16	0,10	-0,01	-0,12	0,19
PARANA	-0,03	1,60	-0,92	0,70	-1,81
PERNAMBUCO	-1,04	0,07	-0,26	-0,05	-0,07
PIAUI	-0,16	0,10	-0,01	-0,12	0,19
RIO DE JANEIRO	-0,08	0,12	-0,27	0,09	0,03
RIO GRANDE DO NORTE	-0,16	0,10	-0,01	-0,12	0,19
RIO GRANDE DO SUL	0,60	-0,33	0,12	-0,04	-0,03
SANTA CATARINA	1,03	-0,26	-0,41	-1,08	0,24
SAO PAULO	2,08	-2,73	0,20	1,12	0,99
SERGIPE	-0,16	0,10	-0,01	0,80	-0,64

APÊNDICE A16- INDICADOR % CONSUMO ENERGIA/SETOR POR UF

Estado	2015	2016	2017	2018	2019
ALAGOAS	0,15	-0,02	0,76	0,26	-0,07
AMAZONAS					
BAHIA	-0,34	-0,27	0,23	-0,28	-0,17
CEARA					-0,41
DISTRITO FEDERAL					
ESPIRITO SANTO	-0,62	-0,55	-0,67	-0,51	-0,41
GOIAS					
MATO GROSSO					
MATO GROSSO DO SUL					
MINAS GERAIS					
PARA					
PARAIBA					
PARANA	-0,02	0,66	-0,29	0,76	0,07
PERNAMBUCO	-0,19	-0,16	-0,31	-0,11	-0,32
PIAUI					
RIO DE JANEIRO	-0,34	-0,35	-0,52	-0,28	-0,33
RIO GRANDE DO NORTE			-0,43	-0,51	-0,41
RIO GRANDE DO SUL	0,81	0,00	0,07	0,12	0,29
SANTA CATARINA	-0,51			-0,65	-0,55
SAO PAULO	1,07	0,69	1,15	1,20	2,32
SERGIPE					

APÊNDICE A17- INDICADOR ENERGIA POR UF

Estado	2015	2016	2017	2018	2019
ALAGOAS	1,45	1,26	6,48	1,43	0,72
AMAZONAS	0,52	1,02	0,75	0,48	1,09
BAHIA	-0,12	0,41	2,09	0,14	-0,10
CEARA	0,52	1,02	0,69	1,35	0,29
DISTRITO FEDERAL	0,52	1,01	0,68	0,50	1,09
ESPIRITO SANTO	-0,57	-0,68	-0,23	-0,26	0,93
GOIAS	0,51	1,02	1,31	0,51	1,00
MATO GROSSO	0,48	1,02	0,68	0,50	1,09
MATO GROSSO DO SUL	0,52	1,02	0,68	0,50	1,09
MINAS GERAIS	0,50	0,97	1,04	0,36	1,29
PARA	0,51	1,01	0,68	0,51	1,08
PARAIBA	0,52	1,02	0,68	0,50	1,09
PARANA	1,18	5,86	-1,79	4,69	-2,05
PERNAMBUCO	-0,93	0,72	-0,04	0,87	0,59
PIAUI	0,52	1,02	0,68	0,50	1,09
RIO DE JANEIRO	0,25	0,07	-0,59	0,77	0,76
RIO GRANDE DO NORTE	0,52	1,02	0,33	-0,28	0,94
RIO GRANDE DO SUL	4,40	0,74	1,91	1,44	1,69
SANTA CATARINA	1,66	0,51	-0,42	-2,78	0,79
SAO PAULO	7,52	-0,04	4,69	6,68	7,04
SERGIPE	0,52	1,02	0,68	2,60	-0,50

APÊNDICE A18- INDICADOR EMISSÕES POR UF

Estado	2015	2016	2017	2018	2019
ALAGOAS	-0,31	-0,39	-0,69	-0,05	0,29
BAHIA	-0,32	-0,12	-0,11	-0,40	-0,77
CEARA	0,58	-0,38	-0,08	-0,43	-0,24
ESPIRITO SANTO	-0,36	-0,33	0,96	0,59	0,36
GOIAS	-0,36	0,58	0,95	0,13	-0,64
MATO GROSSO DO SUL	-0,31	0,01	-0,71	2,11	0,45
MINAS GERAIS	-0,19	-0,40	1,09	-0,47	1,00
PARANA	-0,31	0,49	-0,03	-0,39	0,10
PERNAMBUCO	2,65	-0,76	-0,01	-0,31	0,17
RIO DE JANEIRO	-0,06	-0,19	-0,39	-0,37	0,28
RIO GRANDE DO SUL	-0,30	0,12	-0,31	-0,41	-0,33
SANTA CATARINA	-0,35	1,76	-0,64	-0,26	-0,12
SAO PAULO	-0,36	-0,40	-0,04	0,25	-0,56