



SUSTENTABILIDADE NAS INDÚSTRIAS QUÍMICAS BRASILEIRAS: OBSTÁCULOS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Sustainability in the brazilian chemical industries: obstacles, challenges and opportunities

Vitor Maciel¹, Lilian Elabras Veiga²

¹UERJ, ²IFRJ

Email: vitormsr99@gmail.com, lilian.veiga@ifrj.edu.br

RESUMO

Além de terem uma importância estratégica para o desenvolvimento econômico e técnico-científico da sociedade, as indústrias químicas também estão associadas a expressivos impactos ambientais, razão pela qual o setor vem desenvolvendo práticas e inovações sustentáveis que viabilizem seu crescimento verde. No Brasil, a implementação dessas práticas encontra obstáculos e desafios ainda pouco compreendidos. Nesse sentido, foi realizado um levantamento bibliográfico submetido a uma análise categorial para a descrição deste cenário institucional problemático. A aplicabilidade dos resultados foi validada por uma pesquisa de opinião, veiculada às empresas do setor, e por um estudo de caso em uma indústria química localizada no município do Rio de Janeiro, RJ/Brasil. As categorias Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), Viabilidade Econômica, Atuação do Poder Público, Logística e Conscientização foram identificadas como significativas no cenário de obstáculos e desafios. A pesquisa de opinião indicou que, entre as categorias apresentadas, o grau de dificuldade para a implementação de práticas sustentáveis varia de moderado a crítico na perspectiva das indústrias do setor, com uma maior relevância da Viabilidade Econômica. Por fim, por meio do estudo de caso foi possível compreender como estas categorias se manifestam no contexto prático de uma indústria, possibilitando a identificação de oportunidades de melhoria para a empresa estudada. A integração entre os *stakeholders* e a elaboração de estratégias sistêmicas são medidas recomendadas para a superação dos desafios e obstáculos identificados no presente estudo.

Palavras-Chave: Sustentabilidade Empresarial. Inovações Disruptivas. Química Verde. Análise Categorial. Química Sustentável.

ACEITO EM: 9/9/2022

PUBLICADO: 28/10/2022



SUSTAINABILITY IN THE BRAZILIAN CHEMICAL INDUSTRIES: OBSTACLES, CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Sustentabilidade nas indústrias químicas brasileiras: obstáculos, desafios e oportunidades

Vitor Maciel¹, Lilian Elabras Veiga²
¹UERJ, ²IFRJ

Email: vitormsr99@gmail.com, lilian.veiga@ifrj.edu.br

ABSTRACT

Besides having strategic importance for the economic and technical-scientific development of society, the chemical industries are associated with major environmental impacts, reason why the sector has developed sustainable practices and innovations that enable its green growth. In Brazil, the implementation of these practices faces obstacles and challenges, still poorly understood. In this sense, in order to describe this institutional scenario, a bibliographic survey was conducted and submitted to categorical analysis. The applicability of the results was validated by an opinion poll, distributed to companies in the sector, and by a case study in a chemical industry located in the city of Rio de Janeiro, RJ/Brazil. The categories Research, Development and Innovation (RD&I), Economic Feasibility, Public Sector Performance, Logistics, and Awareness were identified as significant in the scenario of obstacles and challenges. The opinion poll indicated that, among the categories presented, the degree of difficulty for the implementation of sustainable practices varies from moderate to critical in the perspective of the industries of the sector, with the greater relevance of Economic Feasibility. Finally, through the case study, it was possible to understand how these categories are manifested in the practical context of a specific industry, enabling the identification of opportunities for improvement in the studied company. The integration between stakeholders and the elaboration of systemic strategies are recommended measures to overcome the challenges and obstacles identified in the present study.

Keywords: Corporate sustainability. Disruptive Innovations. Green Chemistry. Categorical Analysis. Sustainable Chemistry.

INTRODUÇÃO

No atual contexto de degradação ambiental, inerente ao período do Antropoceno, são cada vez maiores as demandas sociais e institucionais para a consolidação de uma transição sustentável dos modelos de negócios e processos produtivos (Bocken, Short, Rana, & Evans, 2014; Aligleri, Aligleri, & Kruglianskas, 2016). Com isso, a adoção de práticas sustentáveis pelas empresas vem condicionando uma nova formatação institucional das organizações, de forma que estas substituam padrões convencionais de atuação, tradicionalmente caracterizados como poluentes, e passem a promover gradativamente a prosperidade econômica, social e ambiental de forma sustentável (Morais, Silva Oliveira, & Souza, 2014; Donaire & Oliveira, 2018).

Nesse sentido, e considerando a sua importância estratégica para a economia, ambiente e sociedade, a análise sobre o setor das indústrias químicas ganha relevância considerável (ACC, 2018). De fato, todos os setores da sociedade dependem direta ou indiretamente das indústrias químicas, desde a saúde à agricultura (Farias & Favaro, 2011) e é inegável a dependência criada nas economias industrializadas por produtos químicos sintéticos, seja na demanda por produtos finais de consumo, seja na variedade de insumos intermediários empregados nos processos produtivos das indústrias têxtil, eletrônica, automobilística e inúmeras outras (Demajorovic, 2000).

De forma geral, entretanto, a cadeia de produção das indústrias químicas gera impactos que englobam desde a fabricação de produtos potencialmente perigosos à elevada pressão exercida sobre os recursos naturais e sobre a capacidade de regeneração do planeta, com elevados níveis de consumo de recursos hídricos e de matérias-primas, geração de efluentes e resíduos, emissão de poluentes atmosféricos e significativa demanda por energia (CNI, 2017; PNUMA, 2019). Assim, a produção química revela um padrão de insustentabilidade inerente ao modelo convencional de crescimento do setor (Demajorovic, 2000).

Por outro lado, as indústrias químicas se diferem de demais setores por apresentarem uma relação especial com o desenvolvimento tecnológico e com a pesquisa científica. Também conhecidas como “indústrias baseadas em ciência”, as indústrias deste setor apresentam a maior taxa de inovação no mercado, através de uma contínua alteração de produtos e processos produtivos, visando atender as demandas da economia moderna (Demajorovic, 2000; ACC, 2018). Constituindo um ponto de interseção entre ciência, pesquisa, desenvolvimento e produtividade, este pode ser considerado um dos segmentos de produção mais promissores ao desenvolvimento e aplicação de inovações sustentáveis sistêmicas (PNUMA, 2019).

Nesse sentido, inúmeros projetos e iniciativas vêm sendo desenvolvidos ao longo das décadas, visando a redução dos impactos resultantes da produção química por meio da substituição de processos poluentes por outros, alinhados aos conceitos de *ecodesign* (ver Nascimento & Venzke, 2019) e Produção mais Limpa (P+L) (ver PNUMA, 1999).

Entre esses projetos, iniciativas como a Química Verde, o Programa Atuação Responsável, e inúmeros outros, vêm condicionando o desenvolvimento de um movimento mais amplo, a Química Sustentável, que sintetiza os avanços em inclusão social, crescimento econômico e ecoeficiência verificados ao longo da cadeia de valor da produção química (PNUMA, 2019).

Dado que as práticas sustentáveis estão associadas a uma série de retornos para as empresas que as adotam, como diferencial de *marketing*, aumento da produtividade e criação de confiança nas relações com os *stakeholders* (Barbieri, 2016), o desenvolvimento de estratégias associadas à Química Sustentável tem resultado em visíveis vantagens competitivas para o setor das indústrias químicas (CGEE, 2010; Cruz, Pereira, Costa, & Silva, 2014; Coutinho, Bastos, Alijó, & Goulart, 2019). Assim, com a consolidação de inovações tecnológicas e não-tecnológicas nas estruturas organizacionais das indústrias, verifica-se um potencial crescimento verde do setor, que gradualmente vem se concretizando em diversos países (PNUMA, 2019).

Ao mesmo tempo, inúmeros autores registram a existência de obstáculos estruturais, políticos, tecnológicos e culturais ao crescimento verde e àecoinovação (Freeman, 1996; Beltramello, Haie-Fayle, & Pilat, 2013).

O Brasil, que ocupou em 2019 o 6º lugar no quesito faturamento líquido da indústria química mundial (ABIQUIM, 2022), ainda apresenta um limitado desenvolvimento de ações inovadoras relacionadas à sustentabilidade no setor (Garcia, Netto, & Miraglia, 2016). Apesar dos avanços significativos verificados no desempenho ambiental nas últimas décadas, as indústrias químicas brasileiras ainda encontram desafios

expressivos que dificultam uma transição sustentável em direção a modelos de negócios e inovações sistêmicas sustentáveis e estratégicas (CGEE, 2010).

Neste contexto, ganha importância uma análise atenta sobre o atual cenário da sustentabilidade na indústria química brasileira. Contribuindo na descrição deste cenário, o presente estudo pretende sintetizar os principais obstáculos e desafios do setor, entender como esses obstáculos e desafios são percebidos pelas indústrias químicas, e avaliar a sua aplicabilidade prática ao contexto específico de uma empresa localizada no município do Rio de Janeiro, RJ/Brasil. A partir dos resultados obtidos, é apresentada uma exposição mais clara das deficiências na conjuntura de inovações sustentáveis nas indústrias químicas, além de serem apontadas oportunidades e recomendações para a superação dessas deficiências.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Para Demajorovic (2000) o setor das indústrias químicas é um dos mais dinâmicos e vitais de qualquer economia industrializada. Marcadas por impactos socioeconômicos significativos, as indústrias químicas são responsáveis por gerar, para cada emprego direto, cerca de 7,1 empregos em outros setores da economia, justamente por participarem ativamente de praticamente todas as cadeias de produção da economia (ACC, 2018).

A elevada complexidade da cadeia de produção da indústria química, entretanto, também é a responsável por expressivos impactos socioeconômicos negativos, razão pela qual vem crescendo ao longo das décadas a exigência social, política e do mercado para que o setor adote medidas e práticas que possibilitem a redução dos riscos inerentes a seus processos e mesmo a seus produtos (Treptow, Machado, Kneipp, & Siluk, 2019; Neto, 2010; CGEE, 2010).

É nesse sentido que, em 2019, o PNUMA publicou o relatório *Global Chemicals Outlook II*. O documento busca alertar os formuladores de políticas públicas e os tomadores de decisão sobre a importância da gestão de produtos químicos e resíduos perigosos na ótica do desenvolvimento sustentável, fazendo um balanço das tendências globais, progressos realizados e lacunas existentes na consecução desse objetivo global. Segundo o documento, apesar de existirem soluções, são necessárias ações mais ambiciosas no intuito de reduzir a poluição e impactos adversos ao ambiente e à saúde causados pela produção química no mundo.

De acordo com o relatório, em 2016, 62% do volume de químicos consumidos na União Europeia (UE) foram considerados perigosos à saúde, e, destes, 35% foram considerados perigosos ao ecossistema.

Em termos de emissões atmosféricas, além do lançamento direto de poluentes na atmosfera pelas indústrias químicas, onde se destacam as emissões de dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, amônia, metano e gás carbônico, muitos poluentes têm sua fonte de emissão na combustão de resíduos dispostos inadequadamente em depósitos e lixões, sendo esta a principal fonte das emissões de dioxinas, furanos e PCDD/PCDF, com severas consequências à saúde humana e ao ambiente (PNUMA, 2019; Zhang, Zhong, Liu, & Ouyang, 2015).

Ainda expressiva, mas menos documentada, é a emissão originada da volatilização dos produtos químicos utilizados em materiais de construção e de limpeza, mobiliários e cosméticos, como formaldeído, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), tricloroetileno e tetracloroetileno, sendo esta a segunda principal fonte de poluição *indoor*, atrás apenas do cigarro (PNUMA, 2019, OMS, 2016).

Além da poluição atmosférica, o estudo destaca os impactos diretos e indiretos da produção química relacionados à poluição hídrica e à produção de resíduos perigosos. Estima-se, por exemplo, que de 6 a 10% de toda a produção de plástico do mundo seja despejada em oceanos (Essel, Engel, Carus, & Heinrich Ahrens, 2015); e que, dos 20,3 a 28,8 milhões de toneladas de resíduos perigosos gerados anualmente nos Estados Unidos, mais de 70% sejam provenientes dos segmentos químico e petroquímico (PNUMA, 2019).

Quanto à saúde humana, são variados os efeitos decorrentes dessa poluição química generalizada. Em relatório publicado em 2016, a OMS identifica alguns desses efeitos a partir da proporção de causas de óbitos atribuídos à produtos químicos selecionados. São destacados neste relatório, como principais causas de contaminação por químicos: a exposição ocupacional de funcionários a atividades altamente poluentes, a disposição inadequada de resíduos perigosos e o uso de produtos cotidianos cujos riscos ainda não são plenamente conhecidos (cosméticos, produtos de limpeza, aerossóis odorizantes, etc.) (OMS, 2016).

Este cenário é ainda mais preocupante quando se considera que nos últimos anos tem se verificado um crescimento acentuado na produção e comercialização de produtos químicos, principalmente em países de baixa e

média renda, onde o rigor da legislação tende a ser reduzido (PNUMA, 2019). Atualmente, cerca de 40.000 a 60.000 produtos químicos, de origem industrial, são comercializados pelo mundo e estima-se que até 2030 esses valores irão dobrar (PNUMA, 2019).

Nesse sentido, Demajorovic (2000) e Borelli (2011) destacam o papel da indústria química diante do conceito de sociedade de risco, em que a periculosidade e os riscos da atividade humana ultrapassam os limites convencionais de controle em virtude da difusão de suas fontes e da abrangência de suas consequências. Para esses autores, entretanto, o desenvolvimento de práticas que promovam a segurança dos produtos e processos pode mitigar ou erradicar os aspectos mais impactantes do setor, ao mesmo tempo em que garantem a melhoria na qualidade de vida através da geração de empregos, movimentação da economia, desenvolvimento da infraestrutura local, estímulo ao progresso técnico-científico e atendimento à demanda da sociedade por produtos sintéticos de qualidade.

Similarmente, Matlin, Mehta, Hopf e Krief (2015) destacam o papel indispensável da química, e, portanto, da indústria química, no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos na Agenda 2030 pela Organização das Nações Unidas (ONU), em 2015, devido a sua participação nos avanços relacionados às áreas de medicina, agricultura, tecnologia da informação, materiais, energia, meio ambiente, e inúmeros outros. Os autores ressaltam, entretanto, a necessidade de que o setor passe por mudanças radicais em suas prioridades, abordagens e práticas para que possam ser desenvolvidos processos, produtos e mecanismos alinhados aos ODS.

Diante desse contexto, o conceito de Química Sustentável vem se desenvolvendo como forma de englobar e incorporar os múltiplos impactos positivos decorrentes de inovações sustentáveis verificados ao longo da cadeia de valor das indústrias químicas (PNUMA, 2019). A Química Sustentável representa, assim, um novo patamar de comprometimento socioambiental verificado no contexto amplo das indústrias químicas.

Inúmeras práticas e metodologias vêm se consolidando ao longo das décadas, contribuindo para o desenvolvimento da Química Sustentável. Almeida (2012), registrando a evolução de programas e iniciativas associados à sustentabilidade na indústria química, aponta a importância, dentre outros, do Programa Atuação Responsável, criado pela *Canadian Chemical Producers Association* (CCPA) em 1984, e do programa Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição, criado pela *Environmental Protection Agency* (US.EPA) em 1991, e que mais tarde evoluiu, originando o conceito de Química Verde.

Atualmente, a Química Verde é considerada uma ferramenta fundamental para promover o desenvolvimento sustentável não só no campo da química, mas em toda a sociedade, assumindo relevância para o cumprimento dos 17 ODS (PNUMA, 2019).

Anastas e Warner (1998) definem originalmente a Química Verde como o planejamento de produtos e processos químicos a partir de um conjunto de princípios que visam reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas à saúde humana e ao ambiente. Para Tundo *et al.* (2000, p. 1210), apesar dessa definição parecer simples, ela “marca um afastamento significativo da maneira pela qual as questões ambientais foram consideradas ou ignoradas no projeto inicial das moléculas e transformações moleculares, que estão no coração do empreendimento químico (tradução nossa)”.

Desde sua formulação o conceito de Química Verde vem evoluindo conforme se amplia seu campo de atuação na indústria química. Para Carioca, Seidl, Sousa-Aguiar e Almeida (2010), a Química Verde atualmente está intimamente associada aos conceitos de inovação verde, P+L, prevenção na fonte e tecnologias limpas. Assim, o desenvolvimento de catalisadores, a eliminação ou substituição de solventes, a utilização de matérias-primas renováveis e o desenvolvimento de compostos seguros são alguns exemplos de práticas que incorporam princípios da Química Verde (Farias & Favaro, 2010).

Outras aplicações envolvem a intensificação de processos, com a elaboração de processos mais compactos, seguros, energeticamente eficientes e ambientalmente sustentáveis por produzirem menos resíduos (Coutinho *et al.*, 2019); as reações multicomponentes, sínteses convergentes que transferem todos os átomos dos reagentes aos produtos com alta economia atômica (Ferreira, Rocha, & Silva, 2013); e as reações em um único vaso reacional (*one-pot reaction*), em que duas ou mais reações acontecem consecutivamente, com economia de solvente e energia (Ferreira *et al.*, 2013).

Nesse contexto de inovações tecnológicas da indústria química, novos setores socioprodutivos despontam como promissores no paradigma do desenvolvimento sustentável. Entre esses setores, assume especial relevância

o desenvolvimento da bioindústria - segmento voltado para a conversão de recursos renováveis em produtos de valor agregado, como bioprodutos, biocombustíveis e bioenergia (Almeida, 2012; Carioca *et al.*, 2012; Moreira, 2019). Considerando-se a possibilidade de aproveitamento de resíduos e subprodutos agrícolas como insumos dos processos produtivos, o Brasil apresenta uma posição privilegiada para liderar o desenvolvimento da bioindústria, dada sua vantagem estratégica como um dos maiores produtores mundiais do agronegócio (Moreira, 2019).

No setor da cosmética, Gomes, Lima, Kuriyama e Neto (2018) destacam o crescente interesse voltado para a bioprospecção de novas moléculas e princípios ativos de componentes da biodiversidade brasileira, com a potencial incorporação desses ingredientes aos produtos finais das indústrias, o que pode influenciar positivamente o uso sustentável de recursos, desde que se estabeleça integração entre as pesquisas desenvolvidas e o respeito aos ecossistemas e populações tradicionais interessadas.

Gomes *et al.* (2018) destacam também as inovações na indústria petroquímica, com o desenvolvimento de plásticos biodegradáveis e bioplásticos. Apesar de depender de insumos de origem fóssil, foi estimado que até 2020 já existiria a participação da Química Verde em cerca de 10 % do conjunto de produtos ofertados pelo segmento (Gomes *et al.*, 2018).

No Brasil, através da adoção de práticas sustentáveis em seus setores produtivos e gerenciais a indústria química vem, de fato, obtendo resultados significativos na melhoria de seu desempenho ambiental nas últimas décadas, de acordo com relatório publicado pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI) em parceria com a ABIQUIM no ano de 2017. O relatório apontou avanços relacionados, por exemplo, ao reuso de efluentes tratados, redução na geração de resíduos, aumento da eficiência energética, etc. Muitos desses avanços estão associados à adoção de práticas sustentáveis já consolidadas pelas indústrias, como as propostas pelo Programa Atuação Responsável ou por normas de gestão específicas (CNI, 2017).

Apesar dos avanços verificados, de acordo com Garcia *et al.* (2016), a sustentabilidade na indústria química brasileira ainda encontra-se em estágio inicial de desenvolvimento, com foco principal de atuação dirigido às externalidades mais diretas, existindo a necessidade de progressos na implementação de iniciativas que englobem estrategicamente todos os impactos da indústria química, especialmente em um contexto de crescimento do setor e dos problemas a ele associados.

As inovações associadas à Química Verde, por exemplo, ainda apresentam obstáculos específicos ao seu desenvolvimento (CGEE, 2010). Nesse sentido, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) publicou, em 2010, o relatório “Química Verde no Brasil: 2010 - 2030”, avaliando o cenário geral de desenvolvimento no país das principais áreas relacionadas à Química Verde e ressaltando as questões consideradas essenciais para sua prosperidade em um futuro próximo.

Em estudo similar, Moreira (2019), através de pesquisa bibliográfica, identificou os principais entraves para o desenvolvimento da bioindústria no Brasil, agrupando-os em cinco blocos de desafios: matérias-primas, tecnologia, produto, estratégia e modelos de negócio e políticas públicas. Por meio de questionário enviado a profissionais da área, e de uma análise fatorial, Moreira (2019) classificou como mais relevantes os desafios nas áreas de tecnologia e políticas públicas, indicando possibilidades concretas de desenvolvimento do segmento na indústria química brasileira.

Cruz *et al.* (2014) avaliaram, por sua vez, por meio de questionários com perguntas fechadas, a percepção de três agentes do mercado a respeito da substituição de matérias-primas de origem petroquímica por biomassa. O estudo concluiu pela existência de uma assimetria de informação entre os três públicos avaliados (empresas de biotecnologia, fundos de capital de risco e setores demandantes). Os autores recomendam o desenvolvimento de iniciativas que possibilitem a transferência de conhecimentos e expectativas de mercado entre os agentes descritos, reduzindo a incerteza relativa aos riscos envolvidos no desenvolvimento de bioprodutos (Cruz *et al.*, 2014).

Além destas, diversas outras publicações e artigos científicos vêm destacando os obstáculos e desafios relacionados ao desenvolvimento de tendências específicas de inovação sustentável no âmbito das indústrias químicas do Brasil e do mundo (Farias & Fávaro, 2010). A recorrência dos temas abordados possibilita a percepção de um cenário complexo de restrições que permeiam a implantação das mais variadas práticas sustentáveis nas indústrias químicas.

2 METODOLOGIA

2.1 Levantamento bibliográfico e análise categorial

Para a elaboração do presente estudo foi realizado um levantamento bibliográfico de artigos científicos e publicações referentes ao tema, disponibilizadas nos portais Capes, *Google Acadêmico* e *Science Direct*. Foram considerados como critérios de refinamento para a seleção das publicações:

- 1) A abordagem, na publicação, de maneira direta ou indireta, de desafios ou obstáculos relacionados à implementação de práticas e inovações sustentáveis nas indústrias químicas;
- 2) Período de publicação compreendido entre os anos de 2009 e 2019;
- 3) Idioma inglês ou português.

O referencial bibliográfico selecionado, composto por artigos de revisão da área, estudos de caso, pesquisas documentais e relatórios de instituições e centros de pesquisa, foi submetido a uma análise categorial organizada por meio da plataforma *online* Planilhas *Google*.

A análise categorial é definida por Bardin (1977) como uma análise de conteúdo em que fragmentos textuais são agrupados com base em suas similaridades temáticas ou estruturais em categorias específicas, permitindo uma compreensão sistêmica do assunto abordado. A análise categorial foi escolhida como melhor alternativa metodológica para o presente estudo por permitir, a partir do tratamento qualitativo dos dados disponíveis no referencial bibliográfico selecionado, a identificação dos principais fatores, temas e subtemas que resultam em desafios e obstáculos à implementação de práticas sustentáveis pelas indústrias químicas brasileiras.

2.2 Pesquisa de opinião

A partir dos resultados da análise categorial, foi formulada uma pesquisa de opinião veiculada às indústrias químicas por meio de um formulário elaborado na plataforma *online* *Google Forms*. O formulário foi enviado por mídia eletrônica às empresas do setor químico listadas nos cadastros industriais dos estados das regiões Sudeste, Sul e Nordeste (com exceção de Maranhão, Alagoas e Piauí). Os cadastros industriais foram acessados nas páginas da Federação das Indústrias dos respectivos estados, e, na impossibilidade de acessar a sua página, foi consultada a lista de associados fornecida pelos sindicatos de indústrias químicas do respectivo estado. As regiões Centro-Oeste e Norte, bem como os estados de Maranhão, Alagoas e Piauí, não foram contemplados na pesquisa pela dificuldade de acesso às informações de contato das indústrias químicas localizadas nessas regiões.

No total foram enviados 659 formulários e foi adotado o nível de confiança de 90 %. Considerando o total de 961 plantas de produtos químicos industriais instaladas no país (ABIQUIM, 2022) como estimativa para o tamanho da população, e o número de formulários respondidos como o tamanho da amostra, a margem de erro foi calculada com base na equação (1) (SM, 2020).

$$\text{Margem de Erro} = z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Onde z é o escore baseado no nível de confiança adotado (no caso $z = 1,65$), σ é o desvio-padrão da população e n é o tamanho da amostra.

3. ESTUDO DE CASO

Por fim, foi conduzido um estudo de caso em uma indústria química de pequeno porte, localizada no bairro de Bonsucesso, antigo polo industrial do município do Rio de Janeiro, RJ/Brasil. A empresa estudada atua principalmente no atendimento à demanda do mercado galvanotécnico, com a realização de banhos químicos,

além de participar na reciclagem de resíduos provenientes de outros setores industriais, como o de eletroeletrônicos e siderúrgicos.

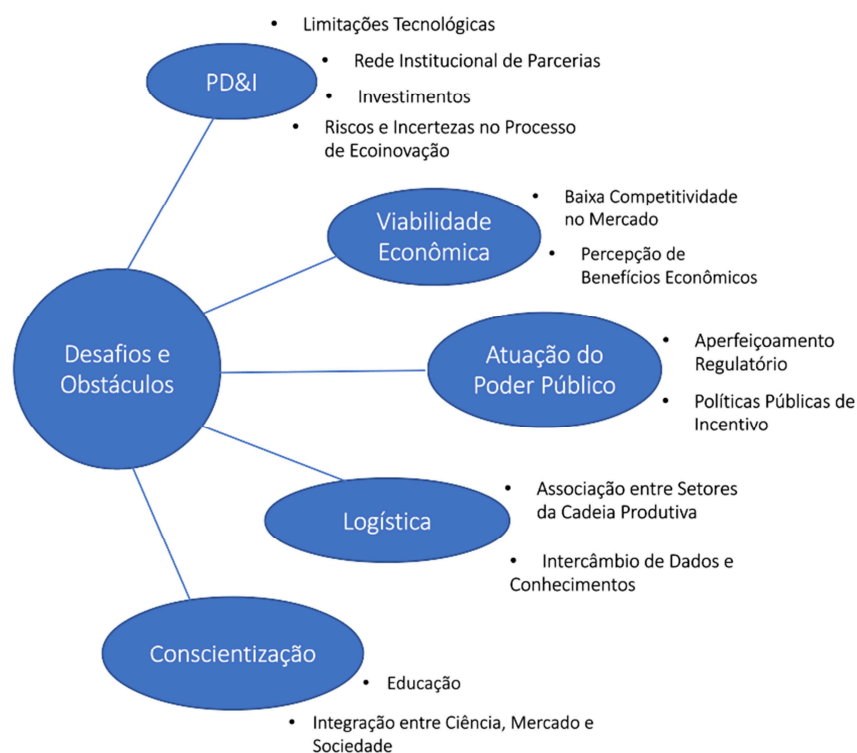
Além das respostas ao formulário empregado na pesquisa de opinião, foi realizada uma entrevista semiestruturada com a diretoria e uma visita técnica às instalações da indústria para a obtenção de informações referentes ao contexto organizacional e operacional da empresa. Por se tratar de uma abordagem metodológica de caráter empírico, o estudo de caso possibilitou a compreensão de como as categorias e subcategorias estabelecidas na análise categorial se manifestam no contexto da empresa estudada.

3.1 Resultados e discussões

3.1.1 Categorias e subcategorias de obstáculos e desafios

O levantamento bibliográfico foi realizado a partir de 30 publicações, das quais foram selecionados 300 fragmentos relevantes para o tema em discussão. A partir da análise categorial empreendida, os fragmentos foram subdivididos em cinco categorias gerais que descrevem as áreas mais relevantes de obstáculos e desafios para a implementação de práticas sustentáveis na indústria química. Foram igualmente identificadas 12 subcategorias que correspondem aos obstáculos e desafios específicos descritos para cada área, listados na Figura 1.

Figura 1 - Categorias e Subcategorias identificadas na Análise Categorial



Fonte: Elaboração própria

Nesse cenário, o setor de PD&I, assume expressiva relevância, especialmente quando se considera a importância das inovações disruptivas da Química Verde para a reestruturação das atividades da indústria química, possibilitando o desenvolvimento de novos mercados e modelos de negócio mais sustentáveis (CGEE, 2010; Almeida, 2012; PNUMA, 2019).

A análise dos fragmentos selecionados, entretanto, revela uma quantidade significativa de Limitações Tecnológicas que dificultam a aplicação das inovações no mercado de forma segura e competitiva. Entre as principais limitações identificadas, encontram-se dificuldades técnicas referentes ao escalonamento dos projetos para a produção em larga escala (CGEE, 2010; Cruz *et al.*, 2014; Moreira, 2019), à conversão da biomassa em produtos de alto desempenho (Ferreira *et al.*, 2013; Gomes *et al.*, 2018) e à redução nos impactos associados aos

produtos e processos desenvolvidos pela indústria (Neto, 2010; Almeida, 2012; Zambanini, Bresciani, Pereira, Souza, & Ortega, 2013; Pereira & Silva, 2014).

Por sua vez, a principal causa identificada para a existência dessas limitações é a carência de Investimentos em PD&I no Brasil. Enquanto no Brasil os investimentos da indústria química na área variam entre 0,60 e 0,80% do faturamento líquido, no Japão os investimentos são da ordem de 4,5%, nos EUA de 2,8% e na Europa de 1,8% (CNI, 2017). Dessa forma, de acordo com a CNI (2017, p. 34), “a maior parte do setor ainda não tem tradição em gestão tecnológica e é dependente de compra ou transferência de tecnologias de processos e produtos para poder manter seus negócios”.

A ausência de recursos investidos na área é relatada como a principal causa da descontinuidade de iniciativas de inovação tecnológica, principalmente das que se encontram em fase inicial de desenvolvimento (PNUMA, 2019). O elevado custo e tempo de retorno envolvendo esses investimentos parece ser o principal obstáculo para a atração de investimentos voltados para projetos de grande porte, como o desenvolvimento de biorrefinarias (CGEE, 2010). Ao mesmo tempo, as pequenas e médias empresas são as mais impactadas, em função de sua restrição financeira, o que as condiciona a uma postura reativa na adoção de práticas sustentáveis, voltando-se somente para o atendimento à legislação (Treptow *et al.*, 2019). Igualmente, as *start-ups*, descritas como importantes agentes da inovação no mercado, encontram dificuldades de desenvolvimento, já que são caracterizadas pela elevada dependência de financiamento externo (Moreira, 2019).

Outra possível causa para o limitado ambiente de inovação na indústria química do país é a existência de Riscos e Incertezas no Processo de Ecoinovação (CGEE, 2010; Neto, 2010; Cruz *et al.*, 2014; Moreira, 2019). No setor da bioindústria, por exemplo, o desenvolvimento simultâneo de múltiplas rotas tecnológicas de processamento cria uma imprevisibilidade no mercado que dificulta o estabelecimento de estratégias seguras por parte das empresas (Almeida, 2012). Para Coutinho *et al.* (2019, p. 87), “a falta de um histórico de credibilidade das tecnologias intensivas emergentes” é uma das principais causas para a aversão aos riscos detectada nas indústrias químicas nacionais.

A criação de uma Rede Institucional de Parcerias, por sua vez, foi identificada por meio da análise categorial como uma possível estratégia para atrair investimentos e promover a solução das limitações tecnológicas descritas. Isto porque a associação entre universidades, centros de pesquisa, empresas e instituições permite o compartilhamento de riscos, redução de custos e transferência de competências e informações entre os setores, viabilizando o atendimento das atuais demandas do mercado e a difusão de tecnologias sustentáveis pelas indústrias químicas nacionais (CGEE, 2010; Borelli, 2011; Cruz *et al.*, 2014; Moreira, 2019). Entretanto, o que se identifica no Brasil é uma limitada interação entre universidade e indústria, com a inexistência de sinergia entre os atores envolvidos no processo de inovação (CGEE, 2010; Moreira, 2019).

Na área Viabilidade Econômica, a variável Baixa Percepção de Benefícios Econômicos também contribui para a reduzida taxa de investimentos em PD&I, além de limitar a assimilação, por parte das empresas, de processos de P+L já consolidados. Embora essas medidas resultem em contribuições significativas para as empresas, com a redução de custos e o aumento de produtividade, há pouca quantificação mensurável dos efeitos dessas práticas no seu lucro direto (PNUMA, 2013; Ramos, 2013; Souza & Miranda, 2013).

A principal causa desse fenômeno parece ser a manifestação a longo prazo dos benefícios econômicos relatados (como o desenvolvimento de novas áreas de atuação no mercado), que muitas vezes não estão ao alcance da percepção de uma parcela das indústrias químicas (Cruz *et al.*, 2014; Spiegel & Schellerer, 2014). A Baixa Percepção de Benefícios Econômicos, pode estar, portanto, associada a uma postura reativa dessas empresas na implementação de práticas sustentáveis, indicando que se encontram em um estágio inicial na evolução da gestão ambiental.

A Baixa Competitividade no Mercado, por sua vez, embora esteja restrita à certos segmentos específicos, como a produção de cosméticos orgânicos e de biocombustíveis de 1ª geração, também foi identificada como um fator limitante ao desenvolvimento de mercados mais sustentáveis nas indústrias químicas (Almeida, 2012; Gomes *et al.*, 2018). A baixa produtividade, baixa disponibilidade de matérias-primas e o elevado custo de produção, que é repassado aos consumidores, são mencionados como os desafios mais significativos para esse desenvolvimento, estando intimamente relacionados às limitações tecnológicas já descritas (Menezes, Kneipp, Barbieri, & Gomes, 2012; Vigario, 2013; Cruz *et al.*, 2014).

A categoria Logística, por sua vez, engloba os desafios operacionais identificados. Nessa área, duas subcategorias foram destacadas: Associação entre Setores da Cadeia Produtiva e Intercâmbio de Dados e Conhecimentos. Ambas as categorias estão associadas ao caráter descentralizado exigido para a avaliação e mitigação dos impactos existentes ao longo do Ciclo de Vida dos produtos da indústria química (Carioca *et al.*, 2012; Vigario, 2013).

Nesse sentido, para a categoria Associação entre Setores da Cadeia Produtiva, a literatura analisada ressalta a necessidade de cooperação entre os *stakeholders* da cadeia de produção química para a elaboração de estratégias integradas de sustentabilidade (Shibao, Moori, Santos, & Oliveira, 2013; PNUMA, 2019), ou para o desenvolvimento de modelos de negócios mais sustentáveis, como os parques químicos e a bioindústria (através da integração entre o agronegócio e a indústria química) (CGEE, 2010; Ramos, 2013; Coutinho *et al.*, 2019).

Na categoria Intercâmbio de Dados e Conhecimentos, foi detectada, entretanto, a existência de lacunas de dados e informações entre esses mesmos atores da cadeia produtiva, inviabilizando a comunicação entre eles e, portanto, a elaboração de planos de ação mais eficazes e abrangentes (PNUMA, 2013; PNUMA, 2019). Nesse sentido, de acordo com o relatório *Global Chemicals Outlook II*, do PNUMA (2019, pp. 569-570):

Enquanto a indústria química precisa implementar uma comunicação efetiva e intercâmbio de informações com seus fornecedores, ela também precisa se engajar com parceiros localizados no fim de sua cadeia de valor para garantir que a informação de segurança química seja apropriadamente comunicada e que as substâncias químicas sejam utilizadas da forma pretendida (tradução nossa).

Na categoria Atuação do Setor Público, foram reunidos os fragmentos associados à participação negativa ou positiva do Estado na implementação de práticas sustentáveis pela indústria química. A subcategoria Aperfeiçoamento Regulatório, por exemplo, compreende as supostas deficiências encontradas no marco regulatório nacional e, portanto, a necessidade de aperfeiçoamento do mesmo. Nesse sentido, pode-se citar o excesso de burocracia envolvida na adoção de novos processos produtivos, o que leva consequentemente a maiores custos de produção (Pereira & Silva, 2013; Souza & Miranda, 2013); a complexidade e diversidade de instrumentos regulatórios presentes nos três níveis da Federação (CNI, 2017); e a ausência de mecanismos normativos que aprofundem a segurança jurídica na avaliação de riscos (PNUMA, 2019).

Em contrapartida, na subcategoria Políticas Públicas de Incentivo, é ressaltada a importância estratégica da atuação do poder público para a resolução de muitos dos obstáculos anteriormente citados (CGEE, 2010; Carioca *et al.*, 2012; Pereira & Silva, 2014). Nesse sentido, é destacada a possibilidade de estímulo a investimentos na área de PD&I; criação de redes de parceria; implementação de projetos de integração entre diferentes setores da cadeia produtiva; incentivos fiscais ou programas de financiamento para possibilitar a viabilidade econômica das práticas e processos mais limpos, etc. A bibliografia analisada, entretanto, também apresenta ressalvas à implementação de políticas públicas, dado o histórico de fracassos verificados em casos passados (CGEE, 2010, p. 413), e dada a possibilidade dessas políticas desenvolverem efeitos inesperados que podem, em última instância, incentivar, ao invés de inibir, o uso de substâncias perigosas e de práticas poluentes na produção química (PNUMA, 2019).

Igualmente estratégica, por influenciar direta ou indiretamente todos os pontos anteriormente abordados, é a categoria Conscientização, que engloba os desafios associados à disseminação do conceito de Desenvolvimento Sustentável na indústria química pelo campo cultural. Nessa área, diante da necessidade de formação de recursos humanos qualificados para atuar nos campos em desenvolvimento da Química Verde, a subcategoria Educação assume peso considerável, condicionando a formação não só de futuros profissionais, como também de cidadãos (CGEE, 2010; Farias & Favaro, 2011; PNUMA, 2019).

Para isso, são requisitadas modificações significativas nos currículos tradicionais de ensino de química, possibilitando uma educação transdisciplinar e capaz de integrar os conhecimentos técnicos com as principais preocupações socioambientais da atualidade (Eilks, Sjöström, & Zuin, 2017). Nesse sentido, Matlin *et al.* (2015, p. 942) concluem:

É importante ressaltar que muitas das contribuições que a química pode fazer em relação aos ODS exigem trabalhar em conjunto com outras disciplinas para identificar soluções práticas, acessíveis e sustentáveis. A química não deve ser ensinada ou praticada sem uma consideração embutida dessas relações mais amplas - isto é, a educação e a prática em química devem ser reorientadas de modo a incutir habilidades em abordagens

interdisciplinares e transdisciplinares informadas por sistemas de pensamento e pelas preocupações com os princípios de sustentabilidade e responsabilidade (tradução nossa).

A Integração entre Ciência, Mercado e Sociedade é igualmente relevante, principalmente quando se considera o papel da pressão da sociedade e do mercado na adoção das estratégias de sustentabilidade das empresas (Dias, Schuster, & Dias, 2013; Buogo, Zilli, & Vieira, 2016; Wolffenbüttel, 2019). A disseminação de conhecimentos científicos entre os *stakeholders*, portanto, parece constituir um elemento essencial para a divulgação dos possíveis benefícios econômicos, a longo prazo, resultantes de práticas sustentáveis, e para a melhor compreensão dos reais riscos envolvidos no processo deecoinovação, eliminando e reduzindo as incertezas nessa área (PNUMA, 2013; Cruz *et al.*, 2014). A subsequente divulgação, para a sociedade, dos avanços e desafios da indústria química, pode, por sua vez, diminuir a resistência dos consumidores e clientes, induzindo-os à compra de produtos e insumos mais sustentáveis e algumas vezes mais caros, e com isso aumentando a competitividade em mercados emergentes (Cruz *et al.*, 2014).

3.1.2 Percepção das indústrias químicas

Para a pesquisa de opinião, um total de 22 formulários foram respondidos, compondo uma amostra com margem de erro de 17 % para o grau de confiança adotado. Apesar da baixa taxa de respostas, recorrente em pesquisas de opinião organizacionais, especialmente em países em desenvolvimento (Krishnan & Poulouse, 2016), os resultados obtidos apresentam um indicativo geral de tendências nas indústrias químicas que podem orientar futuras pesquisas na área.

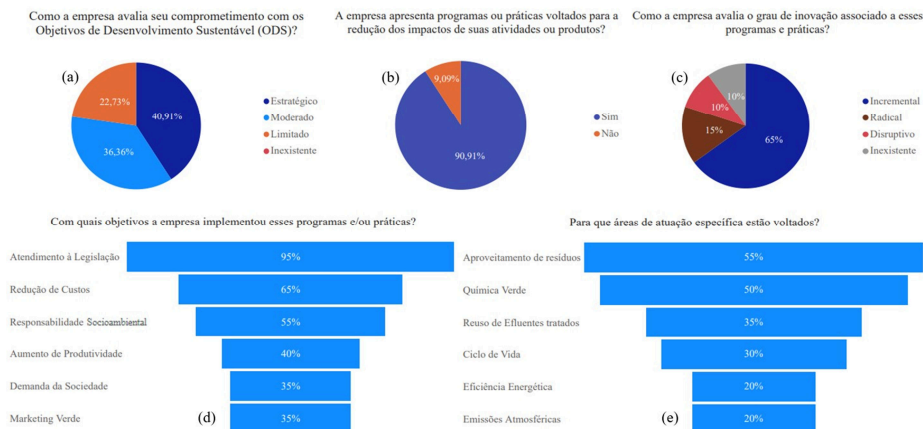
Entre as empresas respondentes, 40,91 % avaliaram seu comprometimento com ODS como estratégico e 36,36 % avaliaram como moderado, enquanto apenas 22,73 % das empresas consideraram seu comprometimento limitado (Figura 2-a). Isto indica uma tendência de engajamento com a questão ambiental entre essas empresas, sugerindo, por consequência, que o formulário reflete a opinião, em sua maioria, de indústrias interessadas e atuantes no desenvolvimento proativo da sustentabilidade em suas operações.

Destas empresas, quase todas (90,91 %) afirmaram possuir programas ou práticas voltados para a redução dos impactos de suas atividades ou produtos (Figura 2-b). A principal causa apontada para a implantação dessas práticas foi o atendimento à legislação (95 %). Como o formulário permitiu a seleção de múltiplas respostas, a existência de causas complementares também foi apontada, se destacando entre elas a redução de custos operacionais (65 %), a demonstração de valores de responsabilidade socioambiental (55 %) e o aumento de produtividade nos processos (40 %) (Figura 2-d).

A maioria das práticas adotadas está voltada para o aproveitamento dos resíduos gerados nos processos (55 %) e para o planejamento de produtos e processos com base nos princípios da Química Verde (50 %), enquanto o reuso de efluentes (35 %) e o acompanhamento do Ciclo de Vida dos produtos (30 %), seguidos pelo controle de emissões atmosféricas e a eficiência energética (ambos com 20 %) ainda são pouco priorizados (Figura 2-e). Essas respostas indicam, entre outras coisas, que os princípios da Química Verde vêm se difundindo entre as indústrias químicas, mas essa difusão ainda não é completa e não é acompanhada diretamente pela preocupação com o Ciclo de Vida dos produtos, preocupação indissociável do próprio conceito de Química Verde.

O grau de inovação associado aos programas e práticas adotados pelas empresas foi avaliado como predominantemente incremental (65 %), enquanto apenas 10 % das empresas considerou essas práticas disruptivas e 15 % as considerou como radicais (Figura 2-c).

Figura 2 - Perfil geral das empresas e das práticas adotadas



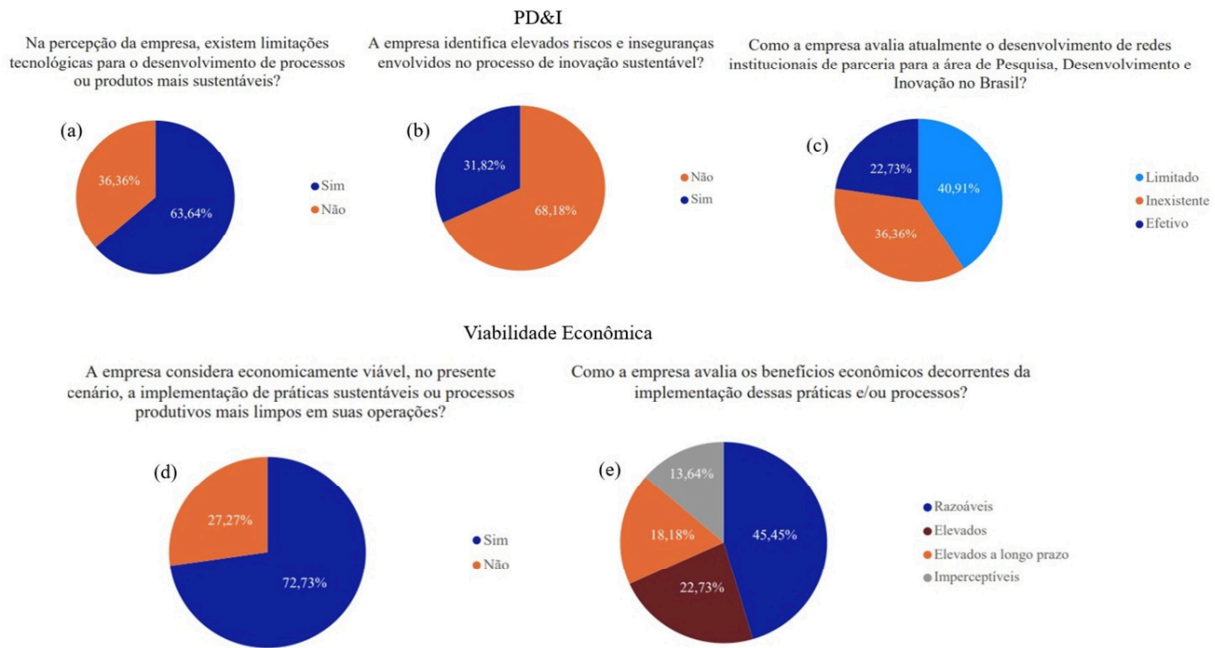
Fonte: Elaboração Própria

Na categoria PD&I, 63,64 % das empresas confirmaram a existência de limitações tecnológicas para o desenvolvimento de processos ou produtos mais sustentáveis (Figura 3-a), enquanto apenas 31,82 % identificaram elevados riscos e inseguranças envolvidos no processo de inovação sustentável (Figura 3-b), o que sugere que os obstáculos técnico-científicos são mais significativos para o processo deecoinovação do que a falta de credibilidade das tecnologias emergentes. Ainda na área de PD&I, 77,27 % das empresas constataram deficiências nas redes institucionais de parceria no Brasil, seja considerando essas redes inexistentes, com a necessidade de iniciativas de incentivo à sua criação (36,36 %), seja considerando a sua existência limitada, havendo necessidades de incentivo ao seu desenvolvimento (40,91 %) (Figura 3-c).

Na categoria Viabilidade Econômica, a maioria das empresas (72,73 %) avaliou como economicamente viável, no presente cenário, a implementação de práticas sustentáveis ou processos produtivos mais limpos em suas operações (Figura 3-d), indicando que, em geral, a redução da competitividade no mercado não é considerada um risco decorrente do aumento das preocupações com questões ambientais pelas indústrias químicas. Apesar disso, a percepção dos benefícios econômicos decorrentes da implementação dessas práticas mostrou variações entre as empresas (Figura 3e), o que pode estar associado ao porte destas empresas, ao contexto econômico da região em que estão localizadas, ou ainda ao grau de percepção que possuem de seus benefícios econômicos.

As respostas indicam que, por mais que não seja prejudicial ao seu desempenho econômico, a adoção de práticas ou processos sustentáveis pelas indústrias ainda não é percebida como uma vantagem competitiva estratégica no mercado.

Figura 3 - Percepção das empresas em relação às categorias PD&I e Viabilidade Econômica

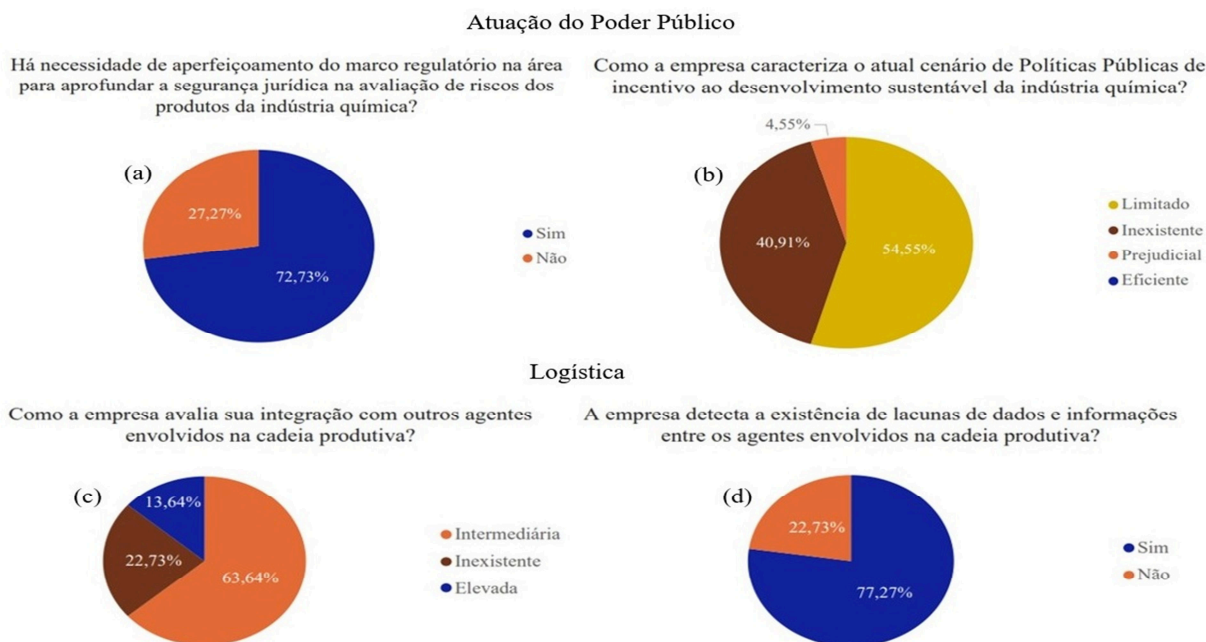


Fonte: Elaboração própria

Na categoria Atuação do Poder Público, 72,73 % das empresas concordaram existir a necessidade de aperfeiçoamento do marco regulatório na área para aprofundar a segurança jurídica na avaliação de riscos dos produtos da indústria química (Figura 4a). Com relação às Políticas Públicas de incentivo ao desenvolvimento sustentável da indústria química, todas as empresas avaliaram o atual cenário como problemático. Enquanto 54,55 % delas avaliaram que as políticas públicas existentes são limitadas, com ações pontuais de pouco efeito prático, 40,91 % as consideraram inexistentes e 4,55 % as consideraram prejudiciais, criando distorções de mercado que resultam em prejuízos a longo prazo (Figura 4-b).

Por sua vez, na categoria Logística, 77,27 % das empresas detectaram a existência de lacunas de dados e informações entre os agentes envolvidos na cadeia produtiva (Figura 4d), enquanto apenas 13,64 % das empresas avaliaram sua integração com outros agentes envolvidos na cadeia produtiva como elevada (Figura 4-c). Esses resultados confirmam a constatação de que existe uma deficiência na associação entre os *stakeholders* da cadeia de produção química.

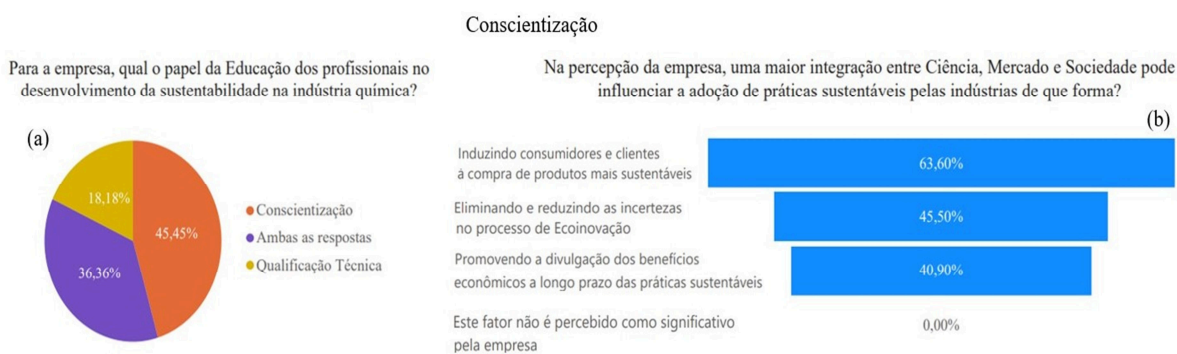
Figura 4 - Percepção das empresas em relação às categorias Atuação do Poder Público, Logística e Conscientização



Fonte: Elaboração Própria

Por fim, na categoria Conscientização, uma baixa parcela das empresas (36,36 %) considerou o papel da Educação como indispensável tanto para a formação de profissionais qualificados tecnicamente quanto para a formação de profissionais conscientes dos novos paradigmas de desenvolvimento (Figura 5-a), indicando que uma compreensão integrada de ambos os aspectos da Educação ainda não é disseminada no setor. A maior integração entre Ciência, Mercado e Sociedade, por sua vez, foi identificada por todas as empresas como um fator que influencia a adoção de práticas sustentáveis pelas indústrias químicas. De acordo com a percepção das empresas, essa integração atua principalmente promovendo a redução da resistência dos consumidores e clientes ao consumo de produtos mais sustentáveis (63,60 %) (Figura 5-b).

Figura 5 - Percepção das empresas em relação à categoria Conscientização

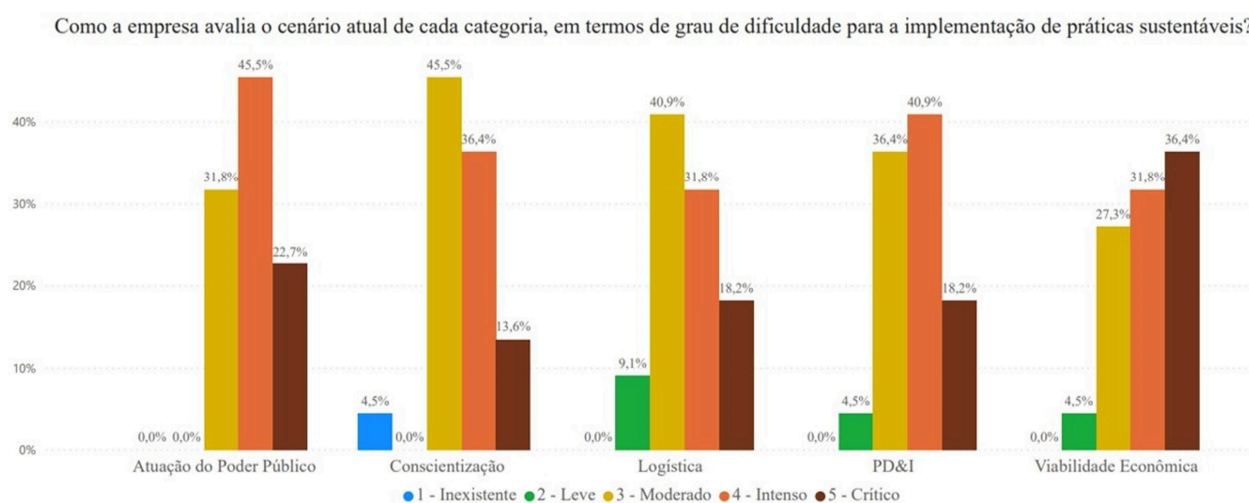


Fonte: Elaboração Própria

As empresas respondentes avaliaram ainda o grau de dificuldade para a implementação de práticas sustentáveis associado a cada categoria estudada (Figura 6). As categorias apresentaram um grau variando entre moderado, intenso e crítico, sugerindo que todas, em maior ou menor intensidade, encerram obstáculos e desafios considerados relevantes pelas indústrias químicas. Dentre estas, a Viabilidade Econômica se destacou, demonstrando que a consideração de aspectos econômicos é uma das motivações mais relevantes para a adoção de práticas sustentáveis, e indicando que esta é uma área estratégica para garantir o engajamento das indústrias químicas com o crescimento verde. Por sua vez, é importante ressaltar que, apesar de ter sido apontada a

viabilidade econômica da adoção de práticas sustentáveis (Figura 3-d), os benefícios econômicos foram avaliados como apenas razoáveis ou mesmo imperceptíveis pela maioria das empresas (Figura 2-d), o que pode explicar a avaliação do atual cenário como predominantemente crítico.

Figura 6 - Percepção das empresas em relação ao cenário de desafios e obstáculos de cada categoria apresentada



Fonte: Elaboração Própria

Por outro lado, em virtude de seu caráter complementar, as demais categorias também devem ser contempladas na busca por soluções e formulação de estratégias no setor. Assim, elevar o grau de inovação nas indústrias, melhorar a sua estrutura de atuação por meio da participação adequada do Poder Público, ampliar a integração entre os agentes da cadeia produtiva e incentivar a comunicação entre as empresas, a academia e a sociedade, são algumas medidas que podem impactar positivamente a percepção ou a geração de benefícios econômicos decorrentes de práticas e processos sustentáveis no setor.

3.1.3 Estudo de caso: aplicabilidade dos obstáculos e desafios no contexto de uma indústria química

O estudo de caso identificou as práticas e estratégias adotadas pela indústria estudada, bem como as limitações no desenvolvimento de uma gestão ambiental integrada e estratégica, apontando oportunidades de atuação para contornar essas limitações.

Foi constatado que atuação da empresa na busca pela redução de seus impactos ambientais envolve principalmente a adoção de medidas fim-de-tubo para o controle da poluição, especificamente atmosférica e hídrica, contando com sistema de lavadores de gases em suas instalações e estação de tratamento de efluentes.

Destaca-se nesse sentido, o investimento significativo da empresa na aquisição de um sistema de reuso de água, que permitiu a redução no consumo desse insumo por meio do tratamento do efluente industrial com tecnologia de membrana de eletrodialise. Esse investimento reflete a política organizacional da empresa, voltada para a inovação e aprimoramento tecnológico. Entretanto, não foi registrada nenhuma prática diretamente relacionada à Química Verde no contexto operacional da empresa e pôde-se constatar que essa política organizacional se restringe principalmente à aquisição de tecnologias e inovações incrementais, sem abranger programas de PD&I ou a parceria com centros de pesquisa que visem desenvolver inovações mais competitivas no mercado.

Foi constatado também que os investimentos realizados em tecnologias e inovações, como no caso do sistema de reuso, têm como principais motivações o melhor atendimento aos requisitos legais e a redução de gastos, aspectos estes que aparentemente predominam nas decisões organizacionais relacionadas à questão

ambiental da empresa. Essas motivações estão de acordo com a da maioria das indústrias químicas, conforme constatado pela pesquisa de opinião apresentada na seção anterior.

Os resultados financeiros obtidos pela adoção de práticas ambientais na empresa, entretanto, foram caracterizados como inconstantes, variando caso a caso. A venda do lodo galvânico em uma bolsa de resíduos exemplifica essa consideração. Apesar desta ser considerada a melhor prática disponível para a destinação desses resíduos, constituindo uma iniciativa de Simbiose Industrial (SI) que permite o aproveitamento dos componentes químicos do lodo em processos produtivos de outras indústrias, não existe garantia de retorno financeiro para a empresa com essa prática. Essa incerteza decorre da variação do resíduo de acordo com as operações e processos realizados ao longo de um ciclo produtivo. A variação na demanda pelo resíduo também resulta em uma incerteza sobre a própria existência de um possível comprador ou receptor.

Além disso, o retorno financeiro, quando existente, comprova-se baixo e pouco significativo para a empresa, podendo chegar a R\$ 1 ou R\$ 2/Kg de lodo. É importante ressaltar que o retorno financeiro obtido com essa prática se estende também à redução de gastos envolvendo a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, ou o pagamento de possíveis multas se não o fizer, o que não é contabilizado diretamente pela empresa como um retorno financeiro.

Nesse sentido, de uma forma geral, não foi constatada a realização, por parte da empresa, de uma análise dos benefícios e lucros indiretos provenientes da adoção de tecnologias e práticas mais limpas, como os derivados do *marketing* verde e da geração de confiança entre os *stakeholders*, o que sugere que benefícios econômicos significativos podem estar sendo subestimados pela mesma. Uma maior exploração destes aspectos poderia, portanto, resultar em maiores vantagens competitivas para a empresa (Dias *et al.*, 2013; Buogo *et al.*, 2016).

Ainda nesse caso específico, destaca-se a importância de um maior controle e planejamento dos processos da empresa, para a adequabilidade dos resíduos gerados aos parâmetros mais vantajosos para o mercado. Além disso, destaca-se a necessidade de uma maior sistematização e aperfeiçoamento dessas mesmas bolsas de resíduos e da integração entre os variados setores e agentes das cadeias produtivas, tanto para a consolidação da SI com uma maior segurança e estabilidade para as empresas que a praticam (Magrini & Elabras-Veiga, 2018), como também para facilitar o próprio planejamento de produtos e serviços fornecidos. Nesse sentido, o desenvolvimento de uma Gestão Sustentável da Cadeia de Suprimentos se mostraria vantajosa para o fortalecimento de toda a cadeia de produção em que a empresa está inserida (Shibao *et al.*, 2013; Jabbour, 2016).

Em outros casos, os resultados financeiros obtidos pela empresa com a adoção de técnicas e práticas mais limpas são marcados por um longo período de retorno, o que restringe significativamente a taxa de investimentos da empresa em inovações tecnológicas mais eficientes e menos impactantes. Esse caso pode ser exemplificado com a impossibilidade da empresa em adquirir, em virtude do alto custo envolvido em sua aquisição, um retificador de onda quadrada, equipamento operacional específico que se mostraria mais vantajoso a longo prazo econômica e ambientalmente.

Outro caso exemplificativo refere-se à tentativa da empresa de instalar placas solares com geração distribuída para o aumento da eficiência energética. Essa proposta foi eventualmente descartada pela alta direção em virtude não só do longo tempo de retorno do investimento, avaliado em cerca de dez anos, mas principalmente pelo cenário de incerteza política, institucional e financeira que envolveria esse tempo de retorno.

Este cenário de incerteza é relatado como proveniente, principalmente, da ausência do Estado em suas esferas de atuação mais essenciais, com a inexistência de infraestrutura básica e com a presença marcante da criminalidade na região de operação da empresa. A possibilidade de dano patrimonial às placas solares devido à queda de projéteis disparados em trocas de tiros na região, por exemplo, constituiu um dos fatores elencados pela empresa para não realizar o investimento.

A falta de infraestrutura se reflete também na ausência de um sistema de saneamento básico na localidade. Como consequência, a empresa se viu forçada a implementar fossas sépticas para o tratamento do efluente sanitário gerado, sem, entretanto, ter identificado qualquer incentivo ou compensação por parte do poder público em decorrência dessa ou de qualquer outra prática adotada. Nesse sentido, pôde-se constatar a ausência de qualquer forma de política pública básica de incentivo ou de apoio à adoção de práticas sustentáveis na empresa.

Ainda com relação à atuação do Poder Público, a burocracia e a complexidade envolvidas na compreensão da legislação ambiental também foram constatadas como um desafio à atuação da empresa, desafio esse que gera

uma falta de clareza na comunicação entre a mesma e o órgão ambiental competente na esfera do Estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

Com relação à integração entre os agentes da cadeia, foi constatada a existência desta prática principalmente através de associações de indústrias, cuja atuação concentra-se prioritariamente no campo da conscientização e divulgação de dados e conhecimentos práticos, sem, entretanto, ter um desdobramento nas atividades de planejamento e operação da empresa, fato constatado no caso da venda do lodo galvânico, já comentado anteriormente.

Apesar disso, foi destacada, pelos dirigentes da empresa, a importância das iniciativas de conscientização e os esforços desempenhados nesse sentido por meio dos encontros e palestras promovidos pelas associações de indústrias, dado o papel que assumem na disseminação da sustentabilidade empresarial por toda a cadeia de produção química. Nesse contexto, a educação foi apontada como estratégica para a adaptação dos profissionais aos modelos de negócio emergentes e às novas formas de atuação da indústria na sociedade.

Na perspectiva da empresa estudada, essa conscientização condiciona não só o engajamento e qualificação dos funcionários e dirigentes, como também pode promover a mobilização dos seus clientes por meio da transparência crescente na comunicação das suas atividades e processos. Assim, entende-se que a integração entre Ciência, Mercado e Sociedade, representada por essa transparência na comunicação dos seus aspectos ambientais, oferece à empresa uma oportunidade para o maior engajamento de seus *stakeholders*. A Figura 7 apresenta resumidamente as interações entre os aspectos observados no estudo de caso e as categorias e subcategorias identificadas na análise categorial.

De uma forma geral, constatou-se com o estudo de caso que o desempenho ambiental da empresa vem melhorando ao longo dos anos, com, por exemplo, a redução no consumo de água e a eliminação do lançamento de efluentes não tratados em corpos hídricos. Entretanto, o comprometimento da empresa com o desenvolvimento sustentável ainda é caracterizado como limitado, em virtude do cenário de obstáculos e desafios que se manifestam nos aspectos internos e externos da empresa.

A melhoria contínua no planejamento e controle de seus processos e produtos, uma maior integração com outros agentes da cadeia de valor em que está inserida, a maior valorização e aproveitamento dos benefícios econômicos indiretos de suas práticas sustentáveis, bem como aprofundamento da conscientização ambiental entre os funcionários e a alta direção, foram identificadas como ações que podem estimular o comprometimento estratégico da empresa com a sustentabilidade empresarial.

Figura 7- Interação entre os Desafios e Obstáculos apresentados na Análise Categorial e os aspectos observados no Estudo de Caso



Fonte: Elaboração Própria

CONCLUSÃO

As indústrias químicas desempenham um papel de destaque no atual cenário de riscos e impactos associados às atividades antrópicas. Nesse cenário, as práticas sustentáveis e inovações disruptivas capazes de mitigar ou prevenir os impactos do setor assumem um papel estratégico na garantia da sustentabilidade. A complexidade do cenário institucional brasileiro, entretanto, representa um entrave à implementação dessas práticas, inibindo ou limitando o comprometimento do setor empresarial com a promoção de um desenvolvimento sustentável.

O presente trabalho identificou, através de um levantamento bibliográfico e de uma análise categorial, os temas mais relevantes na constituição desse cenário institucional problemático. A aplicação dos resultados foi avaliada por meio de uma pesquisa de opinião com as empresas do setor e de um estudo de caso em uma indústria química específica localizada no município do Rio de Janeiro, RJ.

A análise categorial destacou as áreas de PD&I, Viabilidade Econômica, Atuação do Poder Público, Logística e Conscientização, como as mais significativas para descrever os desafios e obstáculos do crescimento verde no setor. Foi constatado que a complementaridade entre os diversos desafios identificados compõe uma rede de conexões complexa, formada por elementos econômicos, políticos e de mercado, que limitam o desenvolvimento de inovações e a implementação de práticas mais sustentáveis nas indústrias químicas.

A pesquisa de opinião confirmou muitas das constatações da análise categorial, identificando um baixo grau de inovação nas indústrias químicas, deficiências na atuação do Poder Público e uma limitada integração entre os agentes da cadeia produtiva. Todos esses fatores contribuem para um cenário de Viabilidade Econômica avaliado como crítico na percepção das empresas, pela falta de incentivos que geram à adoção de práticas e inovações sustentáveis.

A aplicação desse contexto geral à realidade de uma empresa específica, como realizado no estudo de caso, possibilitou a compreensão de como os aspectos descritos dificultam a criação de um ambiente de negócios inovador e sustentável no cenário institucional brasileiro, além de possibilitar a identificação de deficiências, barreiras e oportunidades de crescimento no contexto da empresa estudada.

Nesse sentido, para a garantia de uma transição do padrão produtivo convencional da indústria química brasileira em direção a uma Química Sustentável, destaca-se a necessidade de estratégias sistêmicas que garantam a resolução eficiente dos desafios e obstáculos identificados. Destaca-se também a necessidade de uma maior

integração entre a academia, as indústrias e os variados setores da sociedade, possibilitada através de uma educação transdisciplinar dos profissionais e uma maior comunicação entre todos os *stakeholders*. Essa integração e essa conscientização constituem elementos indispensáveis para estimular a incorporação de uma estratégia corporativa que considere a questão ambiental como fator indissociável do próprio modelo de negócios da organização.

Futuros estudos são necessários para explorar em maiores detalhes as categorias e subcategorias aqui expostas, bem como para avaliar em maior extensão a sua aplicação nos diferentes segmentos da indústria química.

REFERÊNCIAS

- ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química. (2022). *O desempenho da indústria química brasileira*, 2021. Disponível em: <https://www.enaiq.org.br/wpcontent/uploads/2022/02/Livreto-Enaiq-2021-alteracao-fev-22b.pdf>. Acesso em mar. 2022.
- ACC - American Chemistry Council. (2018). *Elements of the business of chemistry* Disponível em: <https://www.americanchemistry.com/2018-Elements-of-the-Business-of-Chemistry.pdf>. Acesso em: mai. 2019.
- ALIGLERI, L., ALIGLERI, L. A., & KRUGLIANSKAS, I. (2016). *Gestão industrial e produção sustentável*. São Paulo: Saraiva.
- ALMEIDA, M.F.L. de. (2012). Química verde: desafios para o desenvolvimento sustentável. *Parcerias Estratégicas*, 17 (35), 113-166. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/683/626
- ANASTAS, P.T., & WARNER, J.C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York, NY, 9USA: Oxford University Press.
- BELTRAMELLO, A., HAIE-FAYLE, L., & PILAT, D. (2013). *Why New Business Models Matter for Green Growth*. Paris, France: OECD Publishing. doi: 10.1787/5k97gk40v3ln-en
- BARBIERI, J.C. (2016). *Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 4 ed. São Paulo: Saraiva.
- BARDIN, L. (1977). *Análise de conteúdo*. Vol. 70. São Paulo: Edições.
- BOCKEN, N.M.P., SHORT, S.W., RANA, P., & EVANS, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of cleaner production*, 65, 42-56. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.039.
- BORELLI, E. (2011). Sustentabilidade e riscos ambientais na indústria química. *Anais do IX Ciclo de Debates em Economia Industrial, Trabalho e Tecnologia*. São Paulo, SP, Brasil.
- BUOGO, F. P., ZILLI, J. C., & VIEIRA, A.C.P. (2016). Marketing verde como diferencial corporativo: um estudo em uma indústria química do sul de Santa Catarina. *Revista Eletrônica Científica do CRA-PR-RECC*, 2 (2), 60-73. Disponível em: <http://recc.cra-pr.org.br/index.php/recc/article/view/31>.
- CARIOCA, J.O.B., SEIDL, P., SOUSA-AGUIAR, E.F., & ALMEIDA, M.F.L. (2012). Química Verde no Brasil: visão de futuro e estratégia nacional para o período 2010-2030. *Parcerias Estratégicas*, 15 (30), 311-338. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/392
- CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (2010). *Química verde no Brasil: 2010-2030*. (ed. rev. e atual.). Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
- CNI - Confederação Nacional da Indústria. (2017). *A química como criadora de soluções para o desenvolvimento sustentável*. Brasília, DF, Brasil: CNI, ABIQUIM.
- COUTINHO, P.L.A., BASTOS, J.B.V., ALIJÓ, P.H.R., & GOULART, A.K. (2019). Intensificação de processos e Química Verde: importância para as indústrias farmacêutica, cosméticos, alimentícia e biorrefinarias. *Revista Fitos*, 13 (1), 74-93. doi: 10.17648/2446-4775.2019.704
- CRUZ, A.C., PEREIRA, F.S., COSTA, L.M., & SILVA, M.F.O. (2014). Química verde na ótica dos agentes de mercado. *BNDES Setorial*, 39, 5-54, 2014. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4644>.
- DEMAJOROVIC, J. (2000). *Sociedade de risco e responsabilidade socioambiental: perspectivas para a educação corporativa*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- DONAIRE, D., & OLIVEIRA, E.C. (2018). *Gestão Ambiental na Empresa*. 3 ed. São Paulo: Atlas.

- DIAS, V.V., SCHUSTER, M.S., & DIAS, R.R. (2013). Orientação da gestão sustentável de uma empresa química com atividade internacional. *Review of International Business*, 8 (1), 68-87. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/9723/orientacao-da-gestao-sustentavel-de-uma-empresa-quimica-com-atividade-internacional>
- EILKS, I., SJÖSTRÖM, J., & ZUIN, V. (2017). The responsibility of chemists for a better world: challenges and potentialities beyond the lab. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 12 (1), 97-106. Disponível em: <http://muep.mau.se/handle/2043/24035>
- FARIAS, L. A., & FAVARO, D.I.T. (2011). Vinte anos de Química Verde: conquistas e desafios. *Química Nova*, 34 (6), 1089-1093. doi: 10.1590/S0100-40422011000600030
- FERREIRA, V.F., ROCHA, D.R., & SILVA, F.C. (2013). Química verde, economia sustentável e qualidade de vida. *Revista Virtual de Química*, 6 (1), 85-111. doi: 10.5935/1984-6835.20140008
- FREEMAN, C. (1996). The greening of technology and models of innovation. *Technological Forecasting and social change*, 53 (1), 27-39, 1996. doi: 10.1016/0040-1625(96)00060-1
- GARCIA, L.G.A, NETTO, C.C., & MIRAGLIA, S.G.E.K. (2016). Sustainability in the Chemical Industry in Brazil. *Sustainable Business International Journal*, 1 (62), 1 - 31. doi: 10.22409/sbijournal2016.i62.a10246
- GOMES, R.N., LIMA, P.S., KURIYAMA, S.N., & NETO, A.A.F. (2018). Desenvolvimento da Química Verde no cenário industrial brasileiro. Edição especial. *Revista Fitos*, 80-89. doi: 10.17648/2446-4775.2018.580
- JABBOUR, C.J.C. (2016). Proatividade Inovadora em Produção e Consumo Sustentáveis no Brasil: das Intenções às Ações Organizacionais Fundamentais. *Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade*, 2 (1), 248-253. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1893/26323>
- KRISHNAN, T.N., & POULOSE, S. (2016). Response rate in industrial surveys conducted in India: Trends and implications. *IIMB Management Review*, 28 (2), 88 - 97. doi: 10.1016/j.iimb.2016.05.001
- MAGRINI, A., & ELABRAS-VEIGA, L.B. (2018). *Ecologia Industrial: desafios na perspectiva da Economia Circular*. Rio de Janeiro: Synergia.
- MATLIN, S.A., MEHTA, G., HOPF, H., & KRIEF, A. (2015). The role of chemistry in inventing a sustainable future. *Nature chemistry*, 7 (12), 941 - 943. doi: 10.1038/nchem.2389
- MENEZES, U., KNEIPP, J., BARBIERI, L. A., & GOMES, C. (2012). Gestão da inovação para o desenvolvimento sustentável: comportamento e reflexões sobre a indústria química. *INMR - Innovation & Management Review*, 8(4), 88-116. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rai/article/view/79239>
- MORAIS, D.O.C. de, SILVA OLIVEIRA, N.Q. da, & SOUZA, E. M. de. (2014). As práticas de sustentabilidade ambiental e suas influências na nova formatação institucional das organizações. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 3 (3), 90-106. doi: 10.5585/geas.v3i3.108
- MOREIRA, L. F. (2019). *Do campo para a indústria química: oportunidades para o Brasil na bioeconomia mundial*. Dissertação de Mestrado, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, SP, Brasil.
- NASCIMENTO, L.F., & VENSKE, C.S. (2019). Ecodesign. In: A. Vilela Júnior & J. Demajorovic. (Orgs.). *Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações*. (p. 229-255) 4 ed. São Paulo: SENAC.
- NETO, A.C. (2010). *A Química Verde e o papel da catálise no contexto da inovação e do desenvolvimento tecnológico sustentável*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (1999). *Eco-Efficiency and Cleaner Production: Charting the Course to Sustainability*. United Nations Environment Programme. Disponível em: http://wbcسدservers.org/wbcسدpublications/cd_files/datas/wbcسد/business_role/pdf/EE&CleanerProducion-ChartingTheCoursetoSD.pdf. Acesso em: mai. 2020.
- PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2013). *Costs of inaction on the sound management of chemicals*. Châtelaine, Genebra, Suíça: United Nations Environment Programme.
- PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2019). *Global Chemicals Outlook II: From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Châtelaine, Genebra, Suíça: United Nations Environment Programme.

- PEREIRA, F.S., & SILVA, M.F.O. (2014). Panorama setorial 2015-2018: indústria química. In: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (Org.). *Perspectivas do investimento 2015-2018 e panoramas setoriais* (pp. 109 - 120). Rio de Janeiro: BNDES.
- RAMOS, D.P. (2013). *Ecoparques empresariais e vantagem competitiva: um estudo sobre o Polo Verde Tecnológico do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, SP, Brasil.
- SHIBAO, F.Y., MOORI, R.G., SANTOS, M.R., & OLIVEIRA N.G.C. (2013). A cadeia de suprimentos verde e as indústrias químicas no Brasil. *Anais do XVI SEMEAD - FEA/USP*. São Paulo, SP, Brasil.
- SM - Survey Monkey. (2020). *Calculadora de margem de erro*. Disponível em: <https://pt.surveymonkey.com/mp/margin-of-error-calculator/>. Acesso em: dez. 2020
- SOUZA, R.O.M.A., & MIRANDA, L.S.M. (2013). Reações sob fluxo contínuo: da Química Verde a um processo verde. *Revista Virtual de Química*, 6 (1), 34-43. doi: 10.5935/1984-6835.20140004
- SPIEGEL, F., & SCHELLERER, K-M. (2014). Hidden markets in the chemical industry-illusion or growth opportunity? *Journal of Business Chemistry*, 11 (1), 3-13. Disponível em: <https://www.businesschemistry.org/downloads/issues/Issue02-2014.pdf#page=7>
- TREPTOW, I.C., MACHADO, P.R.S., KNEIPP, J.M., & SILUK, J.C.M. (2019). Estágios para a inovação sustentável em empresas de diferentes portes do setor químico. *Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo*, 4 (2), 191-216. Disponível em: <http://www.relise.eco.br/index.php/relise/article/view/226>
- TUNDO, P., ANASTAS, P., BLACK, D.S., BREEN, J., COLLINS, T., MEMOLI, S., MIYAMOTO, J., POLYAKOFF, M., & TUMAS, W. (2000). Synthetic pathways and processes in green chemistry: Introductory overview. *Pure and Applied Chemistry*, 72 (7), 1207-1228. doi: 10.1351/pac200072071207
- VIGARIO, B. (2013). *Incorporating sustainability into a chemical company's modus operandi*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal.
- WOLFFENBÜTTEL, R.F. (2019). Representações e práticas empresariais sobre sustentabilidade, o caso do plástico verde. *Novos Rumos Sociológicos*, 6 (10), 202-233. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/NORUS/article/view/15789/9941>
- ZAMBANINI, M.E., BRESCIANI, L.P., PEREIRA, R.S., SOUZA, D.A., & ORTEGA, G. (2013). Sustentabilidade e inovação: um estudo sobre o plástico verde. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 7 (2), 429-453. doi: 10.17765/2176-9168.2014v7n2p%25p
- ZHANG, X., ZHONG, T., LIU, L., & OUYANG, X. (2015). Impact of soil heavy metal pollution on food safety in China. *PLoS ONE*, 10 (8), 1-14.