

# Elaboração de *Roadmap* Tecnológico e de Modelo de Negócios de Economia Circular

## *Elaboration of Technological and Business Roadmap of the Circular Economy*

Aline Souza Tavares<sup>1</sup>

Suzana Borschiver<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

### Resumo

A Economia Circular pode ser definida como um modelo que busca a extensão da vida útil de materiais e de produtos em sua maior utilidade e valor. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar parte da tese de doutorado que vem sendo desenvolvida, desde 2018, na elaboração de um *Roadmap* Tecnológico e de Negócios da Economia Circular, a fim de elucidar tendências tecnológicas e mercadológicas para futuros investimentos e parcerias. A metodologia empregada para o Estágio atual foi realizada a partir da análise de mídias especializadas e de estudos de caso na plataforma da Fundação Ellen MacArthur, e, no Longo Prazo, com a análise de artigos científicos, relacionando-os com os respectivos *drivers*. Entre os resultados obtidos, é possível destacar, em ambos os estágios temporais, os processos em *Design* Circular e Reciclagem, os modelos de negócios de Logística Reversa e Produto como Serviço, assim como os setores mais impactados: Petroquímico, Energético e Têxtil.

Palavras-chave: Economia Circular. Modelos de Negócios Circulares. *Roadmap* Tecnológico.

### Abstract

Circular Economy can be defined as a model, which seeks to extend the materials and product life extension in their greatest utility and value. In this context, this work objective present part of the doctoral thesis in development, since 2018, about Circular Economy Technological and Business Roadmap to elucidate technological and market trends for future investments and partnerships. The methodology for the Current Stage was carried out using specialized media and case studies in the Ellen MacArthur Foundation platform, and in the Long Term, with the analysis of scientific articles, relating them with the respective drivers. Among the results obtained, it is possible to highlight, in both temporal stages, the circular actions in Circular Design and Recycling, the Reverse Logistics and Product-service systems (PSS) business models, as well as the sectors most impacted: Petrochemical, Energy and Textile.

Keywords: Circular Economy. Circular Business Models. Technology Roadmap.

Área Tecnológica: Gestão Tecnológica. Ciências Ambientais. Planejamento Estratégico.



# 1 Introdução

Cada vez mais, a sociedade como um todo tem enxergado a necessidade urgente de mitigar as externalidades negativas expostas pelo modelo econômico tradicional do *take-make-dispose*. Cenários como poluição, aquecimento global, perda da biodiversidade, desperdício de alimentos, volatilidade de preços das matérias-primas, entre outros, se acumulam e tornam a capacidade de regeneração sustentável dos recursos do planeta cada vez mais distante.

Diante desse contexto, é urgente a necessidade de mudanças sistêmicas que busquem reverter esses efeitos negativos e alcançar as metas propostas pelas agendas globais de sustentabilidade, por exemplo, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 (UN, [2018?]).

Indo ao encontro das metas determinadas, a Economia Circular se apresenta como um modelo holístico de sustentabilidade que busca principalmente manter o ciclo de vida útil dos materiais, dos produtos e de seus componentes, eliminando ou minimizando o uso de compostos tóxicos e transformando os resíduos em novos recursos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Kirchherr, Reike e Hekkert (2017) reportaram que a maioria dos artigos define a economia circular como um conjunto de atividades que englobam o reuso, a redução e a reciclagem. Mais do que isso, a Economia Circular tem como foco o *redesign* dos produtos e dos modelos de negócios de modo a favorecer os processos ao final da cadeia e fazê-los recircular (LUZ *et al.*, 2017). De acordo com Stahel (1982 *apud* LIEDER; RASHID, 2016), esse modelo minimiza o uso de matéria e a deterioração ambiental sem restringir o crescimento econômico ou o progresso social e técnico.

Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) consideram em seu estudo dois princípios fundamentais do modelo circular: um herdado da Ecologia Industrial e o outro vindo da Biomimética. No primeiro caso, os resíduos são alimentados na cadeia industrial, tanto como fluxo de material quanto como de energia. No segundo, o meio ambiente é visto como um exemplo a ser copiado para redesenhar as atividades de produção, em particular os padrões industriais ou de desenvolvimento.

O conhecimento da Economia Circular tem se expandido entre as grandes esferas de poder e as empresas de variados setores e tamanhos. A Comissão Europeia, por exemplo, determinou como principais objetivos no Pacto Ecológico Europeu, publicado em dezembro de 2019, a transição para uma economia limpa e circular, de se tornar o primeiro continente neutro nas emissões de carbono até 2050 e financiar projetos não prejudiciais para o ambiente (COMISSÃO EUROPEIA, 2019). Tavares (2018) apresentou em seu estudo diversas iniciativas já realizadas por 43 empresas de 15 setores econômicos, estando entre elas a Danone (Alimentos), a Unilever (Bens de Consumo), a Equinor (antiga Statoil) (Energia) e a Nike (Materiais Esportivos), por exemplo. É possível citar as diretrizes denominadas, *Design for Recyclability*, da Unilever como foco na fabricação de embalagens modulares, maior uso de refis, reciclagem e uso de resíduos pós-consumo reciclados.

Para entender melhor as formas de como a Economia Circular tem se apresentado, se faz necessário estudar os modelos de negócio circulares, representando como as empresas criam, entregam e capturam valor por meio do fluxo de recursos em ciclos fechados ou não

(ANTIKAINEN; VALKOKARI, 2016). Tavares e Borschiver (2019) identificaram sete principais tipos de modelos de negócio da Economia Circular na literatura, cuja breve explicação se encontra no Quadro 1.

**Quadro 1** – Modelos de Negócios da Economia Circular

| MODELO DE NEGÓCIO               | EXPLICAÇÃO   |
|---------------------------------|--|
| <b>Agricultura Regenerativa</b> | Promove a produção de alimentos saudáveis, a criação de ciclos fechados de geração de insumos a partir de resíduos e a aplicação no campo de práticas conservadoras da natureza. Visa à regeneração e à manutenção não apenas das culturas, mas também de todo o sistema de produção alimentar, incluindo as comunidades rurais e os consumidores. |
| <b>Logística Reversa</b>        | Modelo de logística empresarial que objetiva planejar, operar e controlar o fluxo de bens de pós-venda e pós-consumo, bem como o seu retorno ao ciclo de negócios ou produtivo.  |
| <b>Simbiose industrial</b>      | Empresas dentro da mesma área física (parques industriais), ou virtuais (quando a integração transcende o limite físico), visam ao intercâmbio de resíduos e insumos, à otimização de energia, de água, de rejeitos e de outros recursos entre elas.   |
| <b>Chemical Leasing</b>         | Os produtos químicos não devem ser tóxicos e têm como base de pagamento para a operação comercial o serviço realizado pela substância química, isto é, a unidade de pagamento é baseada na produtividade.  |
| <b>Economia Colaborativa</b>    | Valor compartilhado no qual práticas interindustriais e intraindustriais permitem o intercâmbio de conhecimentos e recursos, investimento em inovação, formando uma rede de cooperação.  |
| <b>Produto como serviço</b>     | Sistema comercial em que as empresas mantêm a posse dos bens produzidos, sendo responsáveis pela manutenção, e o cliente paga por usufruir as funções proporcionadas pelo produto. O preço por unidade de um produto passa a ser o preço por serviço, compartilhando a responsabilidade do produto/serviço.  |
| <b>Waste-to-energy</b>          | Tecnologias de obtenção de energia a partir de resíduos produzidos por diferentes setores industriais.   |

Fonte: Adaptado de Tavares e Borschiver (2019)

Dada a relevância da Economia Circular no contexto mundial, é extremamente útil inferir o estado da arte e identificar as tecnologias e os mercados promissores, que podem servir como possibilidades futuras de parcerias para uma determinada organização ou país, priorização de uma agenda de P&D e de melhor alocação de recursos financeiros e de políticas públicas.

Variados atores no mundo e no Brasil vêm elaborando *roadmaps* voltados para a Economia Circular, na forma de roteiros promovidos pela gestão pública com estratégias a serem alcançadas. A Comissão Europeia, por exemplo, criou, em 2015, o *roadmap* “Circular Economy Strategy” com o objetivo de criar condições para o desenvolvimento da Economia Circular, bem como a identificação de barreiras e de fatores viabilizadores de novos mercados e modelos de negócios em variados segmentos que incluem a bioeconomia, a gestão de resíduos, o *design* de produtos, as embalagens, entre outros, sendo atualizado, em 2019, com base no Pacto Ecológico Europeu, a fim de acelerar a transição (EU, 2019).

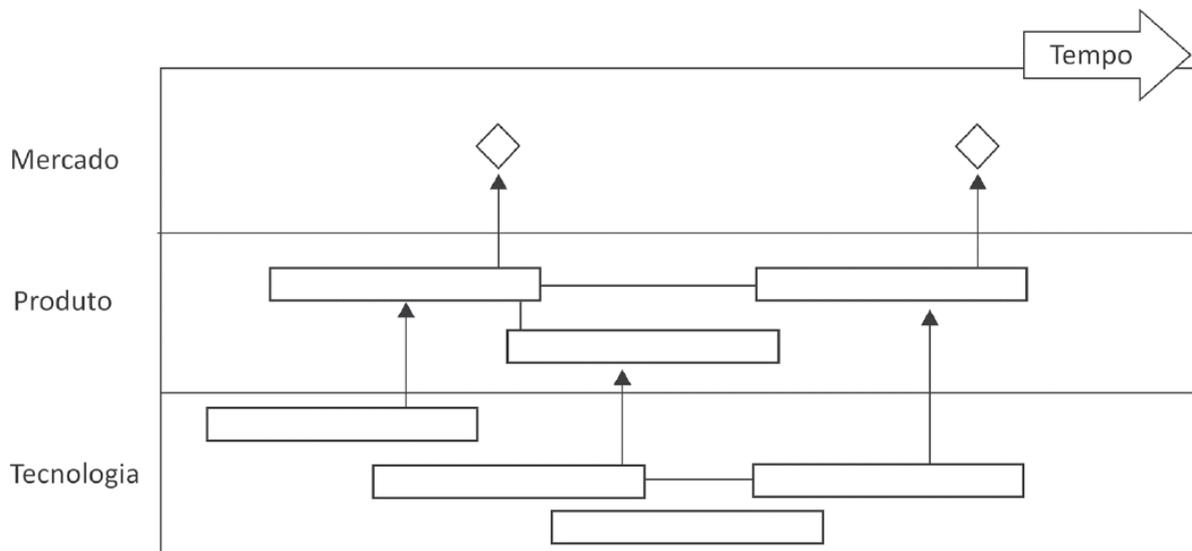
No Brasil, a Confederação Nacional das Indústrias (CNI) vem atuando na coordenação do Estudo Especial de Economia Circular da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) junto à Organização Internacional de Normalização (ISO), no lançamento do *roadmap* “Economia Circular: Caminho Estratégico para a Indústria Brasileira” (CNI, 2019). No Paraná, o Sistema Federação das Indústrias do Estado do Paraná (Sistema FIEP) elaborou o *roadmap* “Rotas

Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense 2031”, contendo ações a serem realizadas de acordo com estágios temporais, como a criação de projeto-piloto de simbiose industrial em municípios paranaenses de médio porte no longo prazo (2027-2031) (FIEPR, 2019).

Na literatura, o *Roadmap Tecnológico* ou *Technology Roadmap* (TRM) é reportado como uma ferramenta de grande destaque no campo de Prospecção Tecnológica pelo seu desempenho e versatilidade em estabelecer tendências de mercado, estudar trajetórias tecnológicas e perfil dos atores atuantes no setor, monitorar concorrentes ao longo do tempo e identificar oportunidades de novos negócios (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

Segundo Lee e Park (2005), o *Technology Roadmap* (TRM) é uma técnica de planejamento estratégico e gerenciamento corporativo que possibilita alinhar objetivos organizacionais e recursos tecnológicos em uma instituição, indústria ou empresa. Na literatura, é possível encontrar variadas formas de se organizar um *Roadmap Tecnológico*, que pode ser representado de maneira geral pela Figura 1.

**Figura 1** – Roadmap Tecnológico esquemático



Fonte: Borschiver e Silva (2016)

A representação gráfica é baseada de modo geral no tempo no eixo “x”, que inclui perspectivas comerciais e tecnológicas, e, no eixo “y”, os parâmetros-chave mercado, produto e tecnologia (PHAAL; KIRATLI; SEMEIJN, 2001; KAPPEL, 2001). Além de ser um processo dinâmico, permite a visualização de lacunas no planejamento estratégico, bem como de vantagens competitivas e de alocação correta de recursos humanos e tecnológicos e, por isso, esse método tem sido cada vez mais aplicado por tomadores de decisões (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar um recorte do *Roadmap Tecnológico* e de Negócios da Economia Circular, que se encontra em fase de construção, de modo a já se obter *insights* preliminares de oportunidades em relação às principais tecnologias, modelos de negócios e setores impactados. Com isso, tais resultados poderão servir de base para a economia brasileira alcançar alavancagem competitiva por meio da economia circular, gerando valor para toda a cadeia produtiva.

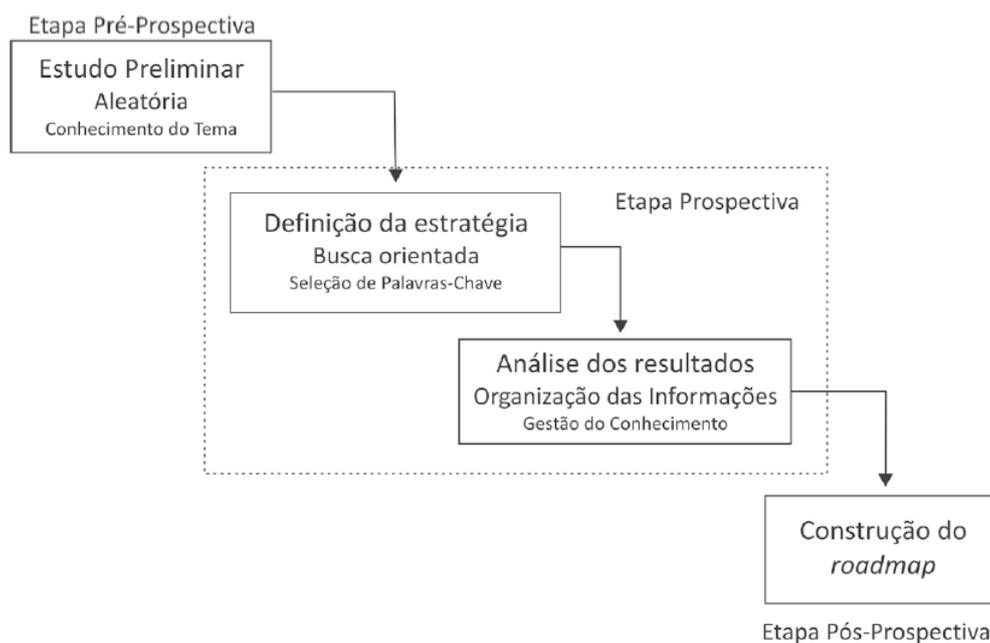
## 2 Metodologia

A metodologia utilizada para a elaboração do *Roadmap* Tecnológico e de Negócios da Economia Circular segue as etapas descritas na Figura 2, correspondente à construção de um *Roadmap* Tecnológico genérico.

Na etapa denominada “Etapa Pré-prospectiva”, é realizada uma pesquisa preliminar em que os assuntos relacionados ao tema são levantados em mídias especializadas e por meio da qual serão delineados os principais conceitos. Trata-se de uma fase fundamental da metodologia, pois é nessa etapa que se obtém a definição de palavras-chave para a Fase de Prospecção (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

A etapa seguinte, denominada de “Etapa de Prospecção Tecnológica”, constitui do levantamento de artigos, patentes, informações de mídias especializadas, relatórios, *Annual Reports*, entre outros (BORSCHIVER; SILVA, 2016). Os documentos são organizados em uma planilha Excel, analisados e tratados em uma perspectiva Macro, Meso e Micro.

**Figura 2** – Etapas de construção do *Roadmap* Tecnológico



Fonte: Borschiver e Silva (2016)

Na análise Macro, são destacados os principais anos de publicação, os países de origem dos autores ou dos documentos, o tipo de ator/*player* (universidades, centros de pesquisa ou empresas, por exemplo) e outras informações. Na análise Meso, é realizada uma divisão das informações relevantes dos documentos por meio de taxonomias ou *drivers*, de modo a identificar as tendências tecnológicas e mercadológicas. Na análise Micro, cada taxonomia/*driver* Meso pode ser subdividida em classificações mais detalhadas a partir de particularidades identificadas (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

Na etapa denominada “Etapa Pós-prospectiva”, ocorre a construção do *Roadmap* Tecnológico, em que os *players* identificados nas etapas anteriores são alocados de acordo com as suas respectivas taxonomias e o tipo de estágio temporal identificado (Estágio atual, Curto prazo, Médio prazo e Longo prazo). O Estágio atual corresponde ao cenário cujas ações já estão

sendo aplicadas, podendo ser encontradas em mídias especializadas e em artigos científicos cujo conteúdo aponta para pesquisas nesse sentido. No Curto e Médio prazo, são mostrados os *players* que estarão atuando no mercado em um futuro próximo, cuja informação é encontrada em patentes concedidas e depositadas, respectivamente. O Longo prazo corresponde ao cenário cujas ações podem vir a ocorrer, ao ter como base artigos científicos contendo pesquisas ainda em fase de elaboração e testes de bancada (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

Por fim, o mapa é dividido em eixo horizontal, que retrata os estágios temporais, e, no eixo vertical, que apresenta a divisão taxonômica utilizada. O *software* utilizado para visualização final foi o Microsoft® Visio® Microsoft® Office.

Para este trabalho será apresentado um recorte correspondente à pesquisa de doutorado em desenvolvimento. Nesse sentido, serão apresentados os resultados obtidos até o momento no Estágio Atual a partir do levantamento de Estudos de Caso realizado na plataforma da Fundação Ellen MacArthur (2020)<sup>1</sup>, em outras mídias especializadas e em *websites* de empresas, bem como no Longo prazo a partir de artigos científicos identificados na base Scopus. Para essa etapa, foi utilizada a palavra-chave “circular economy” no campo “título-resumo-palavra-chave”, no período de 2009 a 2019, e selecionados os 100 primeiros artigos mais recentes.

### 3 Resultados e Discussão

A seguir, serão apresentados os resultados encontrados a partir das análises Prospectivas dos artigos científicos e do conteúdo de mídias especializadas consultados, bem como as análises estratégias Pós-Prospectivas resultantes da relação entre as taxonomias e os *players* responsáveis pelas respectivas iniciativas no modelo de Economia Circular.

#### 3.1 Etapa Prospectiva

A partir da análise dos documentos selecionados, conforme descrito na metodologia, pode-se extrair algumas informações nos níveis Macro, Meso e Micro.

No nível Macro, pode-se observar que as empresas compõem a maioria de tipo de ator entre as publicações de mídias especializadas e os estudos de caso analisados neste trabalho e são em grande parte da Holanda e da China. Todos os artigos identificados foram publicados em 2019, a maioria por Universidades, destacando-se a University of L'Aquila, Brunel University London e Maastricht University, correspondente aos países Itália, Reino Unido e Holanda.

Para os níveis Meso e Micro, foi possível extrair as seguintes taxonomias/*drivers* a partir dos documentos analisados:

- a) *Matéria-prima*: quando o foco do artigo ou do caso estudado consiste na utilização de um insumo ou matéria-prima, por exemplo, biomassa, resíduos (agrícolas, de processo, plástico), entre outros, para alcançar a economia circular.
- b) *Processo*: quando o artigo ou o caso estudado pretende alcançar a economia circular com foco em um processo, podendo ser por meio químico, da cogeração de energia, *design* circular, reuso, remanufatura, reciclagem, entre outros.

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies>. Acesso em: 28 set. 2020.

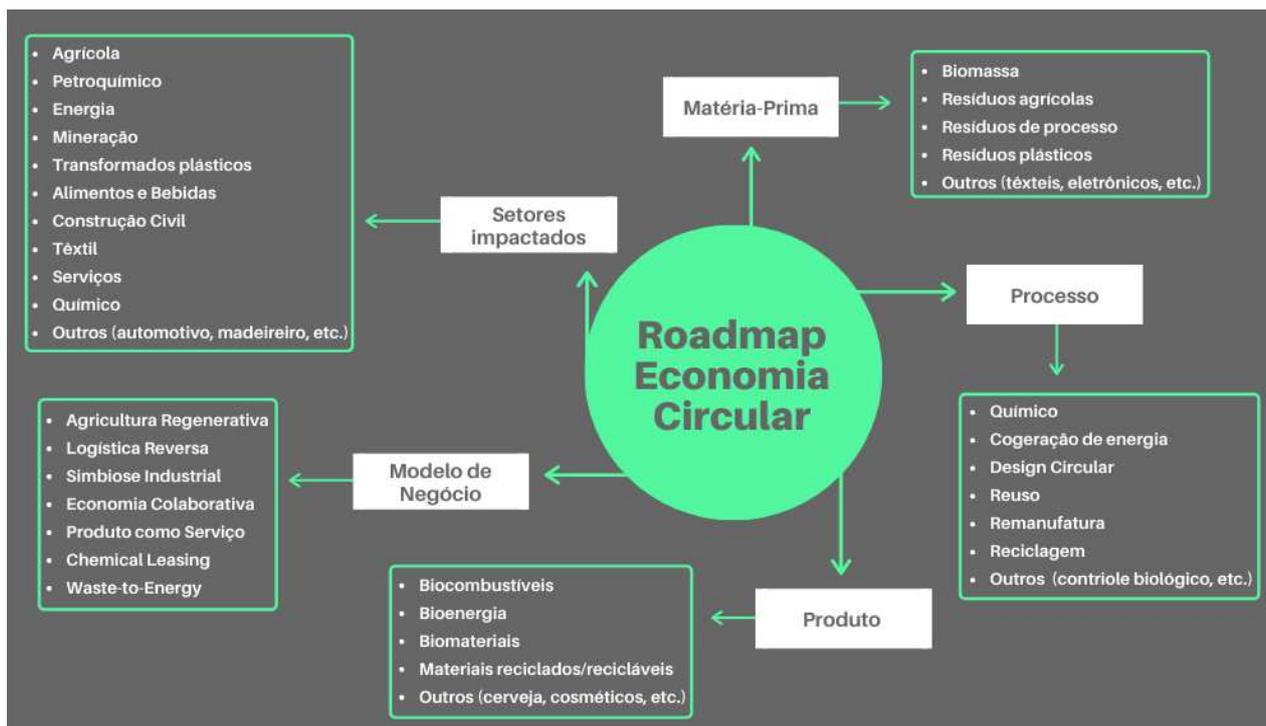
- c) Produto: quando algum produto é obtido no caso estudado ou no artigo com ênfase em economia circular, por exemplo, biocombustíveis, bioenergia, biomateriais, materiais reciclados/recicláveis, entre outros.
- d) Modelo de Negócio: quando o artigo ou o caso estudado tem como foco a utilização ou desenvolvimento de um modelo de negócio circular, como a Agricultura Regenerativa, a Logística Reversa, a Simbiose Industrial, entre outros.
- e) Setores impactados: quando as ações identificadas no artigo ou o caso estudado impactam um ou mais setores industriais conforme a matéria-prima, o processo e/ou produto utilizado ou ainda pelo próprio perfil de atuação do *player*.

Na perspectiva Meso, de maneira geral, as taxonomias Processo e Setores Impactados se destacaram tanto na análise de mídias especializadas e estudos de caso quanto em artigos, neste trabalho.

Na perspectiva Micro, observou-se que os processos identificados que mais têm sido aplicados com ênfase em economia circular tratam do *Design Circular* e da *Reciclagem*, impactando, principalmente, os setores Petroquímico e Têxtil na análise de mídias especializadas e estudos de caso. Esses processos também se destacam nos artigos, incluindo os processos químicos, cujos setores mais impactados foram o Petroquímico, a Energia, os Transformados Plásticos e o Químico. Tais resultados estão em consonância ao esperado nas ações imediatas que vêm sendo realizadas pelos atores, uma vez que transformam a cadeia produtiva desde o projeto de um produto ou processo com o *Design Circular* e retornam seus respectivos componentes com a *Reciclagem* no final dela.

A Figura 3 apresenta uma esquematização das taxonomias mencionadas, correspondentes ao nível Meso (caixas brancas) e suas respectivas Micro (caixas verdes). Vale mencionar que um mesmo documento pode ser categorizado em mais de uma taxonomia.

**Figura 3** – Diagrama de Taxonomias do *Roadmap* Tecnológico e de Negócios da Economia Circular



Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo com base nos dados da tese de doutorado em andamento

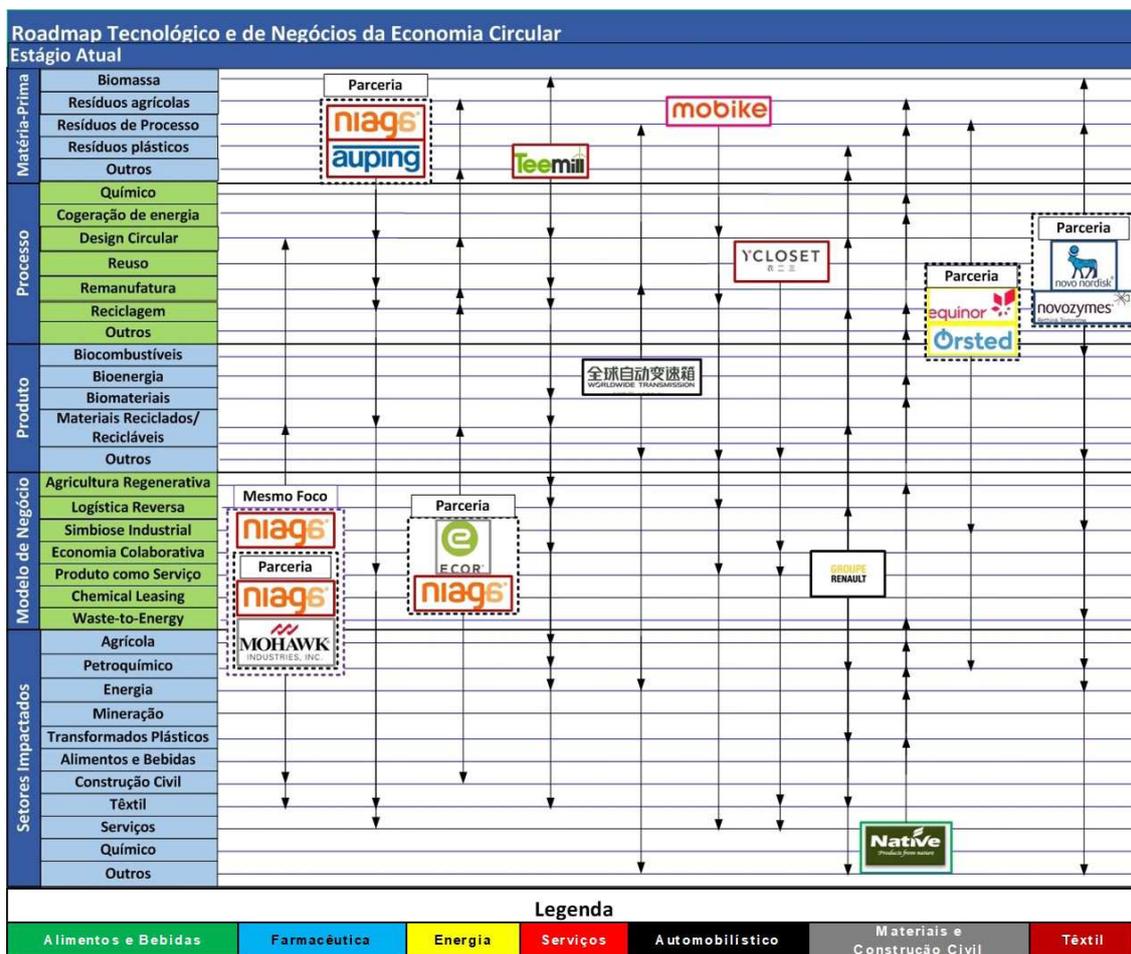
### 3.2 Etapa Pós-Prospectiva – Elaboração do Roadmap Tecnológico e de Negócios da Economia Circular

A partir das taxonomias e das informações recolhidas nos documentos de mídias especializadas, estudos de caso e artigos, pode-se elaborar o Roadmap Tecnológico, que se encontra em fase de desenvolvimento. Os *players* identificados nas análises anteriores foram posicionados de acordo com o estágio temporal analisado para este trabalho (Estágio atual e Longo prazo) e relacionados às suas respectivas taxonomias. Cada logomarca é referente a um *player* específico, que pode ter publicado o documento de maneira individual ou em conjunto com outros *players*, formando um *cluster* de parceria. Nesse caso, as logomarcas parceiras estão envolvidas por um retângulo pontilhado preto e identificadas acima por “Parceria”.

Foram também identificadas similaridades de tendências tecnológicas entre diferentes *players*, gerando a formação de *clusters* de mesmo foco dadas as taxonomias identificadas serem as mesmas. Nesse caso, as logomarcas estão envolvidas por um retângulo pontilhado cinza e identificadas acima por “Mesmo Foco”.

A Figura 4 apresenta um recorte do Estágio Atual do Roadmap Tecnológico, representando as ações que estão sendo aplicadas no tempo presente. Adicionalmente, os setores correspondentes ao perfil de atuação de cada *player* estão representados por variadas cores, cuja legenda se encontra abaixo da figura.

**Figura 4** – Recorte do Roadmap Tecnológico e de Negócios de Economia Circular: Estágio Atual



Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo com base nos dados da tese de doutorado em andamento

Pode-se observar a presença de empresas de setores variados e de multinacionais, como a Renault Group (Automobilístico), a Orsted e a Equinor (Energia), a Novo Nordisk e a Novozymes (Farmacêutico), entre outras. A Renault Group, por exemplo, empresa francesa especializada na fabricação e montagem de automóveis, criou uma plataforma experimental para a “Reciclagem” de veículos em fim de vida (ELV), denominada CAR REcycling 95% (ICARRE 95), apoiada pelo EU LIFE Program<sup>2</sup> (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020). A iniciativa busca reutilizar matérias-primas, como aço, cobre, têxteis e plásticos, remetendo aos “Resíduos plásticos” e “Outros” (resíduos metálicos e têxteis), fazendo a “Logística Reversa” desses materiais para a fabricação de novas peças (“Design Circular”), mantendo-os o máximo possível na indústria automobilística local. Com isso, o retorno desses componentes para as cadeias produtivas pode impactar os setores “Petroquímico”, “Transformados plásticos”, “Têxtil” e “Outros” (Metalúrgico).

Vale destacar também a empresa holandesa Niaga, uma *joint venture* entre dois empreendedores e a multinacional holandesa DSM, que desenvolveu um adesivo que torna as camadas de um material mais facilmente separáveis, facilitando a reciclagem, em que materiais separados podem ser alimentados em um próximo ciclo de fabricação<sup>3</sup>. Em parceria com a empresa norte-americana Mohawk, especializada na fabricação de Materiais de Construção, passou a oferecer a tecnologia *Air.O* para a fabricação de carpete totalmente reciclável, em que materiais podem ser recuperados após o uso e transformados em novos carpetes ou outros materiais<sup>3</sup>. Desse modo, apresentam o mesmo foco em “Design Circular”, produzindo “Materiais recicláveis” e impactando os setores de “Construção civil e “Têxtil”.

A Niaga também realizou parceria com a empresa holandesa Auping para a fabricação de colchões modular e totalmente reciclável, utilizando a mesma tecnologia<sup>3</sup>. A Auping oferece o modelo “Produto como Serviço” dos colchões por meio de uma opção de venda e locação, que inclui um contrato de manutenção. Os consumidores pagam uma taxa fixa por mês enquanto é utilizado e a empresa leva o colchão de volta para a sua “Reciclagem” no final da vida útil. Desse modo, poderá impactar os setores “Têxtil” e de “Serviços”.

Já a empresa indiana Teemil desenvolveu um processo circular de produção que transforma camisetas antigas em novas, utilizando uma plataforma *Open Source*<sup>3</sup> (“Economia Colaborativa”) (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020). A produção, que utiliza práticas da “Agricultura Regenerativa”, é feita sob demanda, o algodão utilizado nas camisetas é colhido de sua produção orgânica, cujos resíduos de sementes são transformados em óleo vegetal e ração animal, a água é tratada e recirculada nas fábricas para consumo e utiliza energia renovável em algumas plantas. Por meio do “Design Circular”, as camisetas são desenhadas para serem enviadas de volta e “Remanufaturadas” quando desgastadas. Além disso, a digitalização de um código QR na etiqueta permite ao consumidor realizar a “Logística Reversa” da peça e ganhar créditos na próxima compra. Tais práticas podem vir a impactar de certo modo os setores “Agrícola”, “Petroquímico”, de “Energia” e “Têxtil”.

Representando o Brasil, pode-se citar a Native, que faz parte da Balbo Group, especializada na produção de cana-de-açúcar e seus derivados (álcool vegetal orgânico, açúcar e outros produtos orgânicos) (NATIVE ALIMENTOS: 2020)<sup>4</sup>. Por meio da aplicação do modelo “Agricultura Regenerativa” em sua usina, implementa o uso de “Resíduos de agrícolas e de processo”, por

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies>. Acesso em: 28 set. 2020.

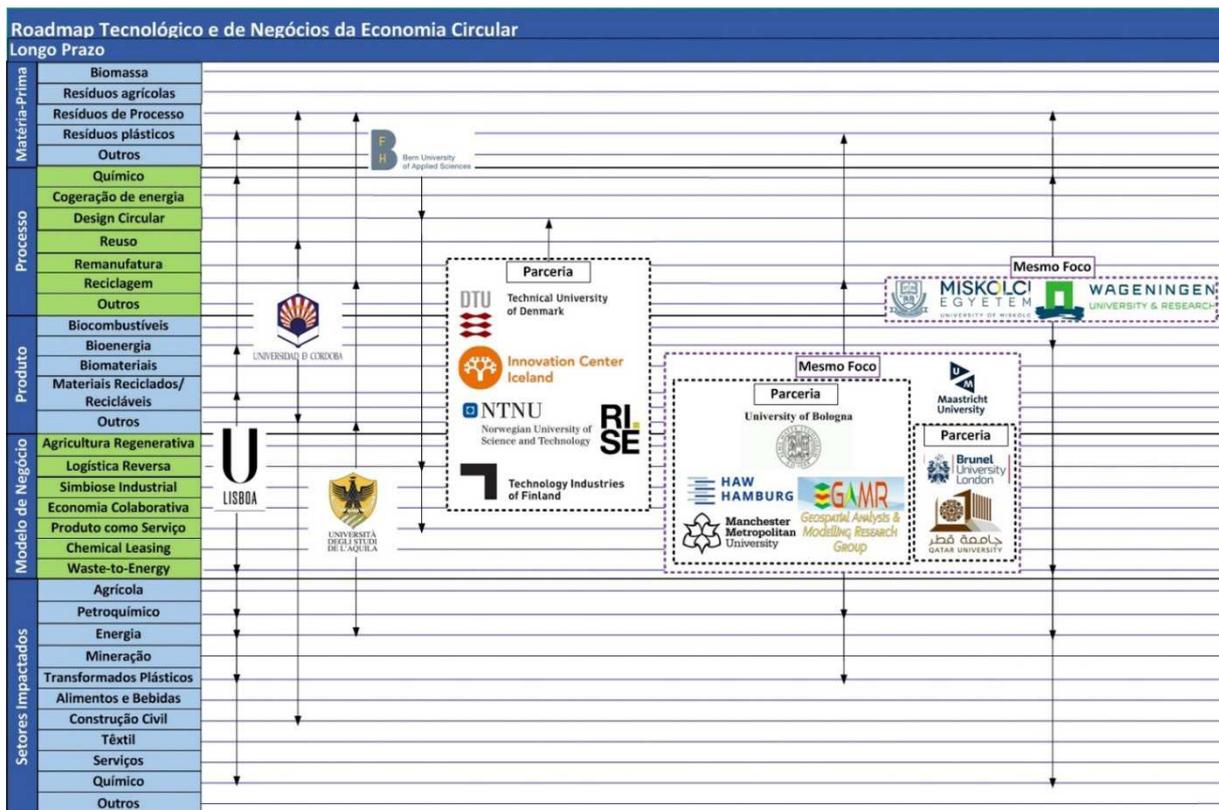
<sup>3</sup> Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies>. Acesso em: 28 set. 2020.

<sup>4</sup> Disponível em: <https://www.nativealimentos.com.br/>. Acesso em: 28 set. 2020.

exemplo, a torta de filtro gerada na produção da cana como biofertilizante (“Biomateriais”) e o bagaço na produção de “Bioenergia” pela “cogeração de energia”, remetendo também ao modelo “Waste-to-Energy”<sup>3</sup>. Além disso, substituiu pesticidas sintéticos por controle biológico (“Outros processos”) e outro “biomaterial” gerado é o polihidroxibutirato (PHB), um tipo de um bioplástico, a partir do açúcar da cana. Nesse sentido, os setores mais impactados podem ser o “Agrícola”, “Petroquímico”, de “Energia” e de “Transformados plásticos”.

A Figura 5 apresenta um recorte do Longo prazo do Roadmap Tecnológico, representando as pesquisas científicas que estão sendo desenvolvidas com foco na economia circular, mas com grande potencial de aplicação futura.

**Figura 5** – Recorte do Roadmap Tecnológico e de Negócios de Economia Circular: Longo Prazo



Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo com base nos dados da tese de doutorado em andamento

Pode-se observar a presença maciça de universidades de variados países, dada a análise de artigos científicos, bem como de *clusters* de parcerias e de mesmo foco. Vale destacar a parceria entre as universidades University of Bologna (Itália), Hamburg University of Applied Sciences (Alemanha) e Manchester Metropolitan University (Reino Unido) com o centro de pesquisa alemão, Geospatial Analysis and Modelling Research Group (GAMR). O documento investiga as inovações em modelos de negócio que podem ser aplicadas para obter conversão de plásticos em nova matéria-prima a partir de uma amostra de empresas na região de Emilia Romagna (Itália) (PALETTA *et al.*, 2019). Já a parceria entre as universidades, Qatar University (Qatar) e Brunel University London (Reino Unido), examinou a reciclagem de resíduos de plástico pós-consumo sob a ótica do *design*, da produção, da coleta e da classificação (HAHLADAKIS; IACOVIDOU, 2019). Tais *clusters* de parceria formam um outro *cluster* de mesmo foco com a Maastricht University, que buscou entender barreiras para a reciclagem de resíduos da impressão

3D doméstica que poderia ser feita por parte do fabricante (PEETERS; KIRATLI; SEMEIJN, 2019). Desse modo, pode-se apontar que esse grande grupo está atuando com pesquisas para a “Reciclagem” de “Resíduos plásticos”, impactando, por isso, os setores “Petroquímico” e de “Transformados Plásticos”.

Já as universidades University of Miskolc (Hungria) e Wageningen University & Research (Holanda) formam um *cluster* de mesmo foco. A pesquisa da universidade húngara avaliou um processo termodinâmico de Captura e Utilização de Carbono (UCC) a fim de obter metano e metanol a partir de dióxido de carbono em escala industrial de modo mais eficiente (HADJADJ *et al.*, 2019). A universidade holandesa pesquisou o uso de células de combustível microbianas (MFCs) para tratamento de águas residuais, podendo produzir eletricidade pela remoção de matéria orgânica (CAIZÁN-JUANARENA *et al.*, 2019). Desse modo, ambos os estudos têm como foco a utilização de “Resíduos de processo” para produzir “Bioenergia” por meio de um processo “Químico”, remetendo ao modelo de negócio “Waste-to-Energy”. Essas ações podem vir a impactar os setores de “Energia” e “Químico”.

Pode-se citar também a pesquisa da Universidade de Lisboa (Portugal), com foco no desenvolvimento de um sistema integrado de pirólise térmica/catalítica (“Processo Químico”), utilizando polietileno de alta densidade (HDPE) (“resíduos plásticos”) para produzir hidrocarbonetos gasosos e serem usados como matéria-prima petroquímica (“materiais reciclados”) ou combustível (“Bioenergia”), remetendo ao modelo de negócio (“Waste-to-Energy”) (SANTOS *et al.*, 2019). Tais ações podem vir a impactar os setores “Petroquímico”, de “Energia”, “Transformados Plásticos” e “Químico”.

A partir da análise estratégica do *Roadmap* Tecnológico e de Negócios em uma perspectiva de Estágio atual e de Longo prazo, pode-se observar diversas tendências tecnológicas e mercadológicas. Apesar de o mapa estar em fase de desenvolvimento, vale destacar as ações no Estágio atual em *Design* Circular e Reciclagem, bem como os modelos de negócios Logística Reversa e Produto como Serviço, impactando, principalmente, os setores Petroquímico, de Energia e Têxtil. No Longo prazo, é possível observar tendências semelhantes com foco também no desenvolvimento de Processos Químicos, uma vez que a poluição dos plásticos ainda é uma questão pendente para o desenvolvimento sustentável, impactando o setor Químico.

## 4 Considerações Finais

Diante do exposto, pode-se inferir que a Economia Circular apresenta um grande potencial de alavancar as agendas globais já firmadas para o desenvolvimento sustentável, como a redução do aquecimento global causado pelas emissões de gases estufa e a difusão das energias renováveis. Por se tratar de um modelo de produção e serviços, que visa ao redesenho de processos e produtos desde a sua concepção, a Economia Circular se apresenta como um modelo de necessárias mudanças disruptivas entre as esferas de poder e na sociedade, a fim de se atingir a mitigação de externalidades negativas e o uso eficiente dos recursos.

O “*modus operandi*” da Economia Circular também traz consigo o desenvolvimento de novos modelos de negócio que estão sendo vistos de diferentes formas na literatura. Os modelos apresentados neste trabalho têm englobado grande parte dos documentos analisados e podem direcionar a forma como as empresas irão garantir a circularidade nos seus negócios.

Nesse sentido, o *Roadmap* Tecnológico, que trata de uma metodologia de suma importância para o planejamento estratégico, tem se mostrado fundamental para o estudo tecnológico e de tendências da Economia Circular e seus modelos de negócios em andamento. Os resultados aqui apresentados indicam principais ações em *Design* Circular e Reciclagem, com os modelos de negócios Logística Reversa e Produto como Serviço, e impactando, principalmente, os setores Petroquímico, de Energia e Têxtil, tanto no Estágio atual quanto no Longo prazo. Neste último, pode-se observar ainda tendências no desenvolvimento de Processos Químicos, impactando o setor Químico. O aprofundamento deste trabalho poderá auxiliar os tomadores de decisão para futuros investimentos, parcerias, concorrentes e aplicações relacionados a esse modelo circular.

Vale ressaltar que a Economia Circular não trata somente da reciclagem, o *redesign* de produtos desde a etapa de seu projeto é fundamental para que a transformação do modelo linear para o modelo circular de fato ocorra. Tanto os materiais renováveis quanto os manufaturados devem retornar à biosfera ou ao seu ciclo produtivo, agregando valor e utilidade à cadeia produtiva.

## 5 Perspectivas Futuras

Dada a construção do *Roadmap* Tecnológico e de Negócios da Economia Circular estar em fase de andamento, as próximas etapas devem ser continuar prospectando os setores descritos neste trabalho, além de pesquisar ações em economia circular nos documentos de patentes (concedidas e depositadas), a fim de alimentar as perspectivas de Curto e Médio prazo e completar o *Roadmap* Tecnológico.

## Referências

ANTIKAINEN, M.; VALKOKARI, K. A Framework for Sustainable Circular Business Model Innovation. **Technology Innovation Management Review**, [s.l.], v. 6, n. 7, p. 5-12, 2016.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. **Technology Roadmap: Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 2016. ISBN: 9788571933866.

CAIZÁN-JUANARENA, L. *et al.* 3D biofilm visualization and quantification on granular bioanodes with magnetic resonance imaging. **Water Research**, [s.l.], v. 167, n. 115059, 2019.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia Circular**. 2019. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-sustentavel/temas-de-atuacao/economia-circular/>. Acesso em: 2 maio 2020.

COMISSÃO EUROPEIA. **Pacto Ecológico Europeu**. 2019. Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_pt](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pt). Acesso em: 26 set. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à Economia Circular: o Racional de Negócio para Acelerar a Transição**. 2015. Disponível em: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a-%CC%80-economia-circular\\_Updated\\_08-12-15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a-%CC%80-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf). Acesso em: 28 set. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Case Studies**. [2020]. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies>. Acesso em: 28 set. 2020.

EU – EUROPEAN COMMISSION. **Circular economy**: new action plan to increase recycling and reuse of products in the EU. 2019b. Disponível em: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12095-Circular-economy-new-action-plan-to-increase-recycling-and-reuse-of-products-in-the-EU>. Acesso em: 19 mar. 2021.

FIEPR – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ. **Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense 2031**. 2019. Disponível em: <http://obshub.com.br/pub/rotas-2031/roadmap-eco-circular.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2021.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 114, p. 11-32, 2016.

HADJADJ, R. *et al.* Renewable energy and raw materials: The thermodynamic support. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 241, n. 118221, 2019.

HAHLADAKIS, J. N.; IACOVIDOU, E. An overview of the challenges and trade-offs in closing the loop of post-consumer plastic waste (PCPW): Focus on recycling. **Journal of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 380, n. 120887, 2019.

KAPPEL, T. A. Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future. **The Journal of Product Innovation Management**, [s.l.], 18, p. 39-50, 2001.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation & Recycling**, [s.l.], v. 127, p. 221-232, 2017.

LEE, S.; PARK, Y. Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules. **Technological Forecasting & Social Change**, [s.l.], v. 72, p. 567-583, 2005.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 115, p. 36-51, 2016.

LUZ, B. *et al.* **Economia Circular Holanda – Brasil**: da teoria à prática. 1. ed. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017.

NATIVE ALIMENTOS. [2020]. Disponível em: <https://www.nativealimentos.com.br/>. Acesso em: 28 set. 2020.

PALETTA, A. *et al.* Barriers and challenges to plastics valorisation in the context of a circular economy: Case studies from Italy. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 241, n. 118149, 2019.

PEETERS, B.; KIRATLI, N.; SEMEIJN, J. A barrier analysis for distributed recycling of 3D printing waste: Taking the maker movement perspective. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 241, n. 118313, 2019.

PHAAL, R.; FARRUKH, C.; PROBERT, D. **T-Plan**: fast start to technology roadmapping- planning your route to success. UK: Cambridge University – Institute of Manufacturing, 2001.

SANTOS, E. *et al.* A catalytic reactive distillation approach to high density polyethylene pyrolysis – Part 1 – Light olefin production. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 378, n. 122077, 2019.

TAVARES, A. S. **A cadeia produtiva da Indústria Química no contexto da Economia Circular**. 2018. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

TAVARES, A. S.; BORSCHIVER, S. Proposta de Novos Modelos de Negócio no Contexto da Economia Circular. **ISTI/SIMTEC**, Aracaju/SE, v. 10, n.1, p. 1-10, 2019. ISSN: 2318-3403.

UN – UNITED NATIONS. **The 17 Goals**. [2018?]. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em: 22 abr. 2021.

## Sobre as Autoras

### **Aline Souza Tavares**

*E-mail:* alinetavares@eq.ufrj.br

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7373-4000>

Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos na área de Gestão e Inovação Tecnológica pela UFRJ em 2018.

Endereço profissional: Av. Athos da Silveira Ramos, n. 149, Escola de Química, Bloco E, Sala E-204, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ. CEP: 21949-900.

### **Suzana Borschiver**

*E-mail:* suzana@eq.ufrj.br

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9551-7795>

Pós-Doutora na área de Gestão e Inovação Tecnológica. Professora Titular na área de Gestão e Inovação Tecnológica pela UFRJ em 2019.

Endereço profissional: Av. Athos da Silveira Ramos, n. 149, Escola de Química, Bloco E, Sala E-204, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ. CEP: 21949-900.