

Entre compromissos de sustentabilidade e requisitos de mercado previstos: explorando a resiliência do paradigma de inovação tecnoeconômica no setor intermediário da pesquisa em construção¹

Deniz Frost*, Kathrin Braun e Cordula Kropp*****

*Universidade de Stuttgart 

**Universidade de Stuttgart 

***Universidade de Stuttgart 

RESUMO

Este artigo investiga maneiras de lidar com a tensão entre o compromisso com a pesquisa sustentável e responsável e os requisitos de mercado previstos no meio do processo de pesquisa em arquitetura e construção. Utilizando uma versão levemente modificada da Pesquisa de Integração Socio-Técnica (STIR), exploramos as oportunidades de questionar a primazia do paradigma de inovação tecnoeconômica, provocando deliberadamente reflexões por meio das interações STIR. Nossa pesquisa destaca as dificuldades e limitações de desafiar uma orientação voltada para os valores de eficiência e produtividade em prol de valores sociais e ambientais durante o processo de pesquisa e examina como o paradigma de inovação tecnoeconômica consegue se isolar de questionamentos críticos. O artigo ressalta o papel fundamental da suposição subjacente de que a viabilidade comercial de resultados prospectivos não é apenas um objetivo entre outros, mas a condição prévia para todos os demais, além de apresentar dois padrões argumentativos que denominamos "falta de agência" e "reconciliação, afinal".

Palavras-chave: Pesquisa de Integração Socio-Técnica (STIR); Requisitos de Mercado Antecipados; Indústria da Construção; Pesquisa e Inovação Responsáveis (RRI); Avaliação Construtiva de Tecnologia.

Proposta submetida em 28 de agosto de 2020; artigo recebido em 9 de abril de 2021; revisões entregues em 2 de julho e 7 de outubro de 2021; revisado em 28 de outubro de 2021; aceito em 1 de dezembro de 2021; disponível online em 28 de fevereiro de 2022.

¹ Reconhecimento: A pesquisa publicada neste artigo é financiada pela Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, Fundação Alemã de Pesquisa) no âmbito da Estratégia de Excelência da Alemanha – EXC 2120/1-390831618. Os autores expressam sua gratidão à DFG. Além disso, gostariam de agradecer a Erik Fisher pelos comentários e conselhos extremamente valiosos, assim como aos dois pesquisadores que participaram generosamente de nossos exercícios de STIR, compartilhando seus pensamentos, experiências e perguntas conosco.



INTRODUÇÃO: A Necessidade de Inovação Responsável na Arquitetura e na Construção

A indústria da construção necessita urgentemente de inovações sociais, culturais e tecnológicas. Atualmente, esse setor é um dos principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa. Em 2019, as emissões de CO₂ relacionadas à energia provenientes das operações de construção e dos edifícios atingiram o nível mais alto já registrado, representando 38% do total das emissões globais de CO₂ relacionadas à energia (UNEP, 2020). Além disso, a indústria é responsável pelo uso excessivo de matérias-primas e pela produção significativa de resíduos. De acordo com estimativas da OCDE, o setor global de construção mais do que dobrará entre 2017 e 2060, com o uso de materiais aumentando para quase 84 gigatoneladas de materiais de construção em 2060 (OCDE, 2019). Atualmente, de 40 a 50% dos recursos não energéticos extraídos para materiais globais são utilizados para habitação, construção e infraestrutura (UNEP, 2020); na União Europeia, os resíduos de construção e demolição representam aproximadamente 25 a 30% do total de resíduos gerados. A maior parte desses resíduos, incluindo concreto, gesso, cerâmica, metais, plásticos, solventes, amianto e solo escavado, está sendo atualmente "downcycled", em vez de reciclada (UNEP, 2020). Ademais, a construção de novas casas sustentáveis ainda agravaría os problemas de uso do solo e impermeabilização do terreno.

Simultaneamente, a demanda por habitação adequada continua a aumentar em todo o mundo. A ONU estima que a população mundial crescerá de 7,7 bilhões em 2019 para 9,7 bilhões em 2050 (ONU, 2019), com mais de dois terços da população vivendo em áreas urbanas. Habitação acessível e adequada já é uma necessidade crítica. Segundo estimativas da ONU, 1,8 bilhão de pessoas vive em condições inadequadas, em favelas ou assentamentos superlotados, ou em situação de falta de moradia (ONU, 2020), expostas a crises de saúde globais, como a COVID-19 e emergências induzidas pelas mudanças climáticas. Em resumo, a construção enfrenta o duplo desafio de realizar a transição para uma cultura de construção sustentável, com zero emissões e zero resíduos, e, ao mesmo tempo, oferecer habitação adequada, saudável e equitativa para uma população mundial em crescimento.

Do ponto de vista econômico, a construção está enfrentando uma crise de inovação, rentabilidade e produtividade, supostamente devido à sua notória aversão à inovação (Roland Berger, 2016; Ribeirinho *et al.*, 2020).

Os governos depositam suas esperanças em tecnologias digitais para resolver as múltiplas crises da construção e estão defendendo que a modelagem da informação da construção (BIM) se torne um padrão para projetos de construção pública (Lee & Borrman, 2020). Embora alguns atores expressem preocupações sobre perda de empregos,

desqualificação, declínio da qualidade arquitetônica e processos de concentração econômica, a visão predominante é que a digitalização oferece soluções para a crise habitacional, a crise ambiental, as crises econômicas, a crise de produtividade e, mais recentemente, também para a crise da COVID-19 (Braun & Kropp, 2021).

Um exame das visões e imaginários sociotécnicos subjacentes aos debates atuais sobre a transformação digital da arquitetura e da construção (Braun & Kropp, 2021) revela um amplo consenso entre os atores da indústria, da política e da sociedade civil sobre os desafios e problemas mencionados anteriormente, além de expectativas quase universais de que as tecnologias digitais proporcionarão soluções para todos eles. Conflitos potenciais entre inovação tecnológica e outros objetivos, como uma cultura de construção com zero emissões e zero resíduos ou um ambiente construído habitável e equitativo, raramente são abordados nessas discussões; a suposição predominante é de que a transformação digital resultará automaticamente em edifícios e processos de construção mais sustentáveis, de alta qualidade, socialmente adequados e aceitáveis. Estes últimos são amplamente vistos como subprodutos da inovação concebida tecnologicamente. Empréstimo o termo "solutionism" de Morozov (2013), podemos observar aqui um tipo de *techno-solutionism* em nível macro, uma crença de que problemas sociais complexos podem ser atribuídos a uma falta de eficiência tecnológica e otimização de processos. Joly e Rip (2012) postulam a concepção de "cornucopia" da tecno-ciência, segundo a qual inovações tecno-científicas resolveriam muitos dos principais problemas da humanidade, se apenas recursos suficientes fossem mobilizados para impulsioná-las. No entanto, pesquisas críticas sobre as inter-relações entre digitalização e sustentabilidade têm mostrado que concepções solutionistas e de cornucopia não se sustentam; efeitos de retorno e aumento do consumo de energia para servidores e operações de TIC, entre outros fatores, prejudicam o meio ambiente a um ponto que pode superar os benefícios ambientais da digitalização (Coroamá & Mattern, 2019; Lange *et al.*, 2020). Até o momento, pesquisas detalhadas sobre as relações entre sustentabilidade e digitalização no campo da arquitetura e da construção continuam escassas (Zhang *et al.*, 2020).

TECHNO-SOLUTIONISMO VERSUS RRI

Não há problema com soluções tecnológicas ou com a eficiência tecnológica em si; é certamente do interesse comum desenvolver soluções eficientes para um ambiente construído sustentável, habitável e equitativo. No entanto, do ponto de vista da justiça social e ambiental, surgem problemas quando a eficiência tecnológica é definida e medida, em primeiro lugar, em termos de economia de custos e rentabilidade, enquanto os valores de sustentabilidade, equidade e justiça são considerados inovadores apenas quando contribuem para esses objetivos. Sob as condições de competição global, a

autoridade para decidir o que se qualifica como uma solução inovadora, em última instância, recai sobre o mercado. No entanto, há boas razões para concordar com von Schomberg e Hankins (2019, p. 1) que "as inovações de mercado não entregam automaticamente objetivos socialmente desejáveis". Essa preocupação deu origem ao paradigma de "pesquisa e inovação responsáveis" (RRI) (von Schomberg, 2008; Owen *et al.*, 2012; Owen *et al.*, 2013; Burget *et al.*, 2017), definido por von Schomberg como...

[...] um processo transparente e interativo pelo qual atores sociais e inovadores se tornam mutuamente responsivos uns aos outros, com o objetivo de garantir a aceitabilidade (ética), sustentabilidade e desejabilidade social do processo de inovação e de seus produtos comercializáveis (a fim de permitir uma adequada integração dos avanços científicos e tecnológicos em nossa sociedade). (von Schomberg, 2008, p. 50)

A RRI é proposta como uma estratégia para desafiar o paradigma tecnoeconômico dominante na pesquisa e na inovação, contrabalançando-o com uma orientação voltada para objetivos e soluções socialmente desejáveis em relação aos grandes desafios estabelecidos, entre outros, nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (von Schomberg & Hankins, 2019). No entanto, a RRI também tem sido criticada pela falta de clareza em seu significado e dimensões, além de questionamentos sobre como deve ser implementada na prática.² Delgado e Åm (2018) afirmam que as noções de preocupações sociais e valores públicos permanecem vagas. Na prática, eles observam que a RRI muitas vezes se reduz a "cumprir tabela", adicionando apenas um parágrafo a uma proposta de pesquisa e um pesquisador das ciências sociais e humanas (SSH) à equipe, geralmente de última hora. Outro ponto de crítica refere-se ao significado da palavra "inovação". Von Schomberg e Blok (2021) argumentam que, tanto na política de inovação da UE quanto nas definições padrão de RRI, inovação é efetivamente equiparada a produtos tecnológicos comercializáveis, conforme mencionado na definição citada acima ("o processo de inovação e seus produtos comercializáveis"). Inovações mais sistêmicas, sociais, culturais ou econômicas ficam fora do escopo dessa definição. Enquanto a inovação for entendida como produtos tecnológicos comercializáveis, a autoridade do mercado como a suprema autoridade de decisão permanecerá inquestionada, e o sucesso ou fracasso será inevitavelmente medido em termos tecnoeconômicos. Objetivos como sustentabilidade ambiental, inclusão e um ambiente construído habitável e equitativo não competem em pé de igualdade; podem ser considerados subprodutos, mas nunca objetivos conflitantes. A abordagem de Pesquisa de Integração Sociotécnica (STIR) (Fisher, 2007; Fisher & Schuurbiers, 2013; Fisher *et al.*, 2015) se baseia na ideia central da RRI de que podemos minimizar impactos negativos não intencionais e maximizar impactos positivos da pesquisa e do desenvolvimento, além de "orientar suas trajetórias de várias maneiras em direção a futuros responsáveis e

² Para uma visão geral, veja Burget *et al.*, 2017.

desejáveis" (Stilgoe, 2013, p. 14), ao adicionar uma abordagem para a modulação intermediária da pesquisa sociotécnica, fortalecendo a reflexão sobre as potenciais implicações sociais de uma pesquisa durante o próprio processo de investigação. A STIR tem abordado muitas das críticas mencionadas, entre outras, ao fornecer um protocolo claro que permite interações aprofundadas, em vez de meramente "cumprir tabela".

Neste artigo, utilizamos uma versão adaptada da abordagem STIR para explorar se e em que medida é possível tornar o paradigma de inovação tecnoeconômica dominante (com sua orientação de mercado intrínseca) passível de reflexão crítica e modulação no meio do processo de pesquisa. Para isso, nos baseamos na abordagem STIR, que tem como interesse subjacente investigar a capacidade dos pesquisadores acadêmicos de considerar de forma mais reflexiva as dimensões sociais de seu trabalho e de alinhar considerações tecno-científicas e sociais ao longo de suas pesquisas. Fundamentamo-nos na STIR como um rico repositório de conhecimento metodológico, experiência prática de pesquisa e descobertas empíricas relacionadas à modulação intermediária em colaborações de pesquisa interdisciplinar. Seguimos o método STIR, uma abordagem semiestruturada que, em sua aplicação, exige consideráveis escolhas e interpretações, embora com algumas adaptações para nosso estudo de caso. O objetivo de nossa pesquisa foi desenvolver uma compreensão mais profunda de como os pesquisadores negociam potenciais tensões entre compromissos pré-estabelecidos com valores sociais e ambientais e valores de eficiência, produtividade e comercialização, além de explorar as oportunidades para desafiar deliberadamente a primazia destes últimos por meio das interações STIR.

Neste trabalho, apresentamos os resultados de dois estudos de caso STIR que realizamos com pesquisadores de dois projetos dentro de uma grande rede de pesquisa interdisciplinar na Alemanha sobre métodos computacionais em arquitetura, engenharia e construção. Através de interações com cada participante em seu cotidiano ao longo de doze semanas, obtivemos insights sobre como lidam com o paradigma tecnoeconômico. Na grande maioria dos casos, a abordagem STIR já se mostrou eficaz em explorar a lógica por trás das decisões de pesquisa, assim como em estimular o aprendizado reflexivo, as deliberações sobre valores e os ajustes práticos (Schuurbiers, 2011; Lukovics & Fisher, 2017). Argumentamos que, na pesquisa acadêmica básica, os requisitos de mercado não impactam diretamente a pesquisa, mas têm um impacto indireto por meio das *antecipações* desses requisitos. Contudo, não é o mercado que influencia a pesquisa, nem uma única maneira de abordar os requisitos de mercado presumidos; trata-se de diferentes formas de antecipar, abordar e lidar com os requisitos de mercado, embutidos em contextos institucionais pré-estabelecidos e práticas de pesquisa, assim como diferentes maneiras de negociá-los em relação a outros valores. De modo geral, constatamos que os requisitos de mercado são apenas parcialmente maleáveis e abertos à modulação reflexiva.

No restante deste artigo, primeiro apresentamos o método STIR e nossas adaptações para o nosso contexto de pesquisa específico. Em seguida, fornecemos um relato condensado de dois exercícios STIR, bem como nossas descobertas em relação à antecipação e ao atendimento dos requisitos de mercado e sua respectiva incorporação em configurações de projeto particulares.

PESQUISA DE INTEGRAÇÃO SOCIO-TECNOLÓGICA (STIR)

A STIR se insere em uma longa tradição de estratégias destinadas a integrar preocupações e considerações sociais na pesquisa e desenvolvimento tecno-científico, abrangendo desde implicações éticas, legais e sociais (ELSI) até várias vertentes da avaliação de tecnologias (TA) e a Inovação Responsável (RRI) (Fisher *et al.*, 2015; Kropp, 2021). Em termos gerais, como conclui Job Timmermans, essas estratégias tiveram impacto limitado no desenvolvimento real da pesquisa e da inovação. "A RRI ainda é discutida principalmente de forma conceitual, em termos de estruturas e abordagens, ao invés de forma prática, em termos de ferramentas e transferência de conhecimento" (Timmermans, 2017, p. 20). Algumas estratégias podem ter sido bem-sucedidas em evitar os piores cenários, mas há poucas evidências de que tenham redirecionado a pesquisa e a inovação para fins mais sustentáveis e socialmente desejáveis. A integração de preocupações sociais provou ser mais desafiadora do que o esperado, com obstáculos e dificuldades surgindo da predominância do paradigma tecnoeconômico de inovação, além de formas bastante formais e de última hora de envolver pesquisadores e perspectivas das ciências sociais e humanas (SSH) (Bogner *et al.*, 2015; Mayntz, 2015; Kuzma & Roberts, 2018; Manzeschke & Gransche, 2020; Stubbe, 2020; Strand *et al.*, 2021). A STIR aborda esses desafios em certa medida: oferece uma estratégia para estimular reflexões sobre os contextos sociais da pesquisa por meio de interações regulares entre um pesquisador de SSH e pesquisadores tecno-científicos em um ambiente de pesquisa específico ao longo de um período determinado. Essas interações, que normalmente ocorrem ao longo de doze semanas, permitem reflexões colaborativas sobre o contexto social e as possíveis implicações da pesquisa, e, potencialmente, abrem oportunidades para ajustes práticos (Fisher *et al.*, 2006; Fisher & Schuurbiers, 2013). No entanto, a STIR não busca reorientar radicalmente ou mudar o curso da pesquisa, mas sim considerar de forma incremental as suposições sociais, éticas e ambientais no processo de pesquisa sempre que possível (Owen *et al.*, 2013).

Ao incitar reflexões sobre possíveis decisões e práticas de pesquisa alternativas na interação entre pesquisadores de tecnologia e pesquisadores de SSH, a STIR parece adequada para motivar a contemplação dos requisitos de mercado, sua influência no processo de pesquisa e a relação entre imperativos tecnoeconômicos e objetivos concorrentes que visam resultados socialmente desejáveis.

Assim, a STIR é uma forma do que Konrad *et al.* (2017) denominam "avaliação construtiva de tecnologia", pois...

... visa mobilizar insights sobre as dinâmicas coevolutivas da ciência, tecnologia e sociedade para antecipar e avaliar tecnologias, ao invés de se preocupar predominantemente com a avaliação dos impactos sociais de uma tecnologia quase dada. Além disso, desloca o foco da orientação de políticas para a (intervenção suave) na construção contínua e na incorporação social das tecnologias. (Konrad *et al.*, 2017, p. 15)

Ao documentar o envolvimento de pesquisadores tecno-científicos com o contexto socio-técnico do trabalho em reflexões colaborativas em tempo real sobre as possíveis implicações de seu trabalho, é possível analisar essas dinâmicas coevolutivas em um nível micro e observar como a construção contínua de tecnologias pode mudar por meio dessa reflexão (Schuurbiers, 2011).

A STIR foca na modulação em meio ao processo (MM) (Fisher *et al.*, 2006; Fisher *et al.*, 2015), buscando distribuir "responsabilidade ao longo da cadeia de inovação, localizando-a até mesmo no nível das práticas de pesquisa científica" (Fisher & Rip, 2013, p. 175). A MM refere-se a processos incrementais de alteração das práticas de pesquisa e desenvolvimento, bem como da tomada de decisões em resposta a restrições sociais, além de valores, considerações e influências sociais de maneira mais geral (Fisher *et al.*, 2006; Fisher & Schuurbiers, 2013; Owen *et al.*, 2013). É importante ressaltar que a modulação ocorre independentemente; não existe um processo de pesquisa ou inovação que não seja modulado. As questões cruciais são se a modulação ocorre de forma consciente e se está orientada para a sustentabilidade, equidade e inclusão. A STIR visa a MM como um meio de aumentar a capacidade dos pesquisadores de considerar os contextos sociais e ambientais e as implicações de seu trabalho e, possivelmente, alinhar as agendas de pesquisa e inovação mais estreitamente com os valores públicos e futuros desejáveis (Fisher & Schuurbiers, 2013). Observou-se que ela apoia dois modos de aprendizado reflexivo: de primeira e de segunda ordem. O aprendizado reflexivo de primeira ordem concentra-se em refletir e melhorar as decisões de pesquisa em relação ao quadro de objetivos, suposições, teorias de fundo e valores que sustentam a pesquisa, enquanto o aprendizado reflexivo de segunda ordem submete o quadro normativo, epistemológico e institucional dado a uma inspeção crítica e reflexão que se estende à cultura de pesquisa e seus pressupostos metodológicos, epistemológicos, ontológicos e socioéticos (Schuurbiers, 2011, p. 772).

Baseamo-nos nessa abordagem, mas também a interpretamos de maneira ligeiramente diferente, levantando, de tempos em tempos, questões sobre os impactos sociais e ambientais da pesquisa. Consideramos isso apropriado, uma vez que, nesse caso, a rede de pesquisa já havia se comprometido com esses objetivos; portanto, não os introduzimos de fora. Ao integrar socio-tecnicamente, situar conjuntamente e interrogá-las criticamente nas sessões, nossos objetivos eram promover a consideração de

aspectos e impactos sociais, éticos e ambientais e explorar coletivamente possibilidades para uma adaptação que vá além das meras adaptações incrementais aos desafios da sustentabilidade.

A STIR pode resultar em aprendizado reflexivo de primeira e segunda ordem por meio de dois modos de interação, denominados STIR 1.0 e STIR 2.0, entre pesquisadores de SSH e aqueles com formação em ciência e tecnologia. O STIR 1.0 tem um caráter mais *reconstrutivo*; visa identificar restrições e requisitos, interesses e expectativas (como a expectativa de entregar produtos comercializáveis) no nível das práticas de pesquisa, instituições ou da sociedade como um todo, constituindo o contexto cultural do processo de pesquisa. O STIR 1.0 investiga e avalia a capacidade dos agentes de meio de processo para modular suas práticas e trajetórias de pesquisa sob condições específicas (Fisher *et al.*, 2016). Portanto, o STIR 1.0 pode ter um efeito transformador e orientado para a intervenção nas práticas e capacidades de pesquisa. O STIR 2.0 possui uma aspiração mais explicitamente *transformadora*, tentando modular deliberadamente o processo de pesquisa ao chamar a atenção para os impactos sociais e éticos e, com nossa adaptação do STIR, questionar suposições dadas (Kropp, 2021). “Como um programa de pesquisa, o STIR 1.0 investiga as condições e capacidades para ampliar a integração socio-técnica, enquanto, como intervenção, o STIR 2.0 tenta exercer essas capacidades de forma deliberada” (Fisher *et al.*, 2015). Na medida em que convidamos deliberadamente os pesquisadores tecno-científicos a refletir sobre os impactos de sua pesquisa em relação aos valores substanciais com os quais a rede de pesquisa se comprometeu, realmente praticamos uma versão do STIR 2.0. No entanto, foi uma versão do STIR 2.0 na qual o pesquisador de SSH se referiu a valores que já estavam inscritos no quadro de pesquisa; assim, o pesquisador de SSH lembrou esses valores e compromissos na interação, em vez de introduzi-los como novos.

Os pesquisadores da STIR distinguiram três tipos de modulação (MM), referindo-se a diferentes níveis de reflexão e modificação das atividades de pesquisa: modulação *de fato*, modulação reflexiva e modulação deliberada (Flipse *et al.*, 2013). Na modulação *de fato*, o pesquisador de Ciências Sociais e Humanas (SSH) reconhece os chamados moduladores de decisão que moldam o processo de pesquisa. Esses moduladores podem incluir uma variedade de suposições cognitivas, bem como condições sociais ou materiais que informam o processo de pesquisa, incluindo suposições e expectativas orientadoras impostas pelos contextos de pesquisa ou pelo ambiente institucional. A extensão em que esses fatores podem determinar a pesquisa, e até que ponto podem ser modificados, são questões empíricas que não podem ser respondidas previamente. Na modulação *reflexiva*, os participantes se tornam conscientes das formas como as suposições e expectativas influenciam o processo de pesquisa real, permitindo que sejam tornadas negociáveis e modificáveis. Na modulação *deliberada*, os pesquisadores integram ativamente e de forma intencional certas modulações *de fato* em sua tomada

de decisões (Fisher & Mahajan, 2006; Flipse *et al.*, 2013; Kropp, 2021). Seguindo nossa abordagem adaptada da STIR, na *modulação deliberada*, buscamos que os pesquisadores não apenas integrem deliberadamente considerações sobre modulações *de fato*, mas também questionem algumas delas e considerem outras levantadas pelo pesquisador de SSH. A modulação deliberada é, portanto, de particular importância para a inovação responsável. Os três tipos de modulação também servem como dispositivos conceituais para interpretar os dados obtidos por meio do processo STIR (Flipse & van de Loo, 2018).

Com base em nossas observações utilizando o protocolo STIR (veja a Fig. 2), decidimos expandir o processo em um passo: questionamos e desafiamos ativamente as suposições orientadoras (como orientações tecnoeconômicas) e pedimos aos participantes que refletissem sobre elas. Os participantes foram convidados a discutir se era viável orientar seu trabalho de forma mais significativa em direção a objetivos sociais, éticos e ambientais, além do paradigma tecnoeconômico dominante. Nossa intenção era determinar se conseguíamos identificar as opiniões dos participantes sobre o potencial de diferentes modos de mudança de direção. Os relatos dos participantes sobre as restrições que limitam as possibilidades de ajustar seu trabalho permitiram compreender o papel dos requisitos de mercado antecipados nas atividades de pesquisa em andamento.

STIR NA ARQUITETURA E ENGENHARIA CIVIL

Os exercícios de STIR foram realizados dentro de uma rede de pesquisa interdisciplinar em arquitetura e engenharia. Pesquisadores de Ciências Sociais e Humanas (SSH) foram integrados desde o início e estão contribuindo para o desenvolvimento da pesquisa.

Nesse contexto, colaboramos com um pesquisador³ da área de engenharia (Pesquisador E) e um da área de arquitetura (Pesquisador A) em dois exercícios de STIR distintos. Ambos os pesquisadores desempenharam papéis centrais em seus respectivos projetos.⁴ Durante os dois períodos de STIR, o Pesquisador SSH I (responsável pela integração sociotécnica) utilizou os chamados protocolos de decisão (Fisher, 2007) e conduziu doze conversas semiestruturadas baseadas em diretrizes com ambos os pesquisadores, com o objetivo de explorar coletivamente as decisões de pesquisa iminentes em relação a objetivos gerais, opções, suposições orientadoras, possíveis alternativas e resultados esperados (veja a Figura 1). O protocolo de decisão permite que os participantes abordem e reflitam sistematicamente sobre suas decisões de

³ O STIR não se limita necessariamente a interações com investigadores individuais; no entanto, devido ao enquadramento do contexto de investigação, a nossa cooperação teve de ser estreitamente coordenada com antecedência. Neste estudo, limitámos o STIR às interações individuais...

⁴ Por questões de anonimato, utilizamos os pronomes neutros they/them/their ao nos referirmos aos pesquisadores.

pesquisa atuais, levando em consideração as suposições consideradas relevantes e os possíveis cursos de ação. Nesse sentido, o protocolo de decisão atua como um guia para essas conversas aprofundadas, centradas em problemas. Através de interações e diálogos regulares ao longo de vários meses, foi possível monitorar mudanças na posição do pesquisador de tecnologia e aprofundar a discussão sobre suposições e temas recorrentes.

Figura 1: Protocolo de decisão STIR como fundamento para conversas semiestruturadas.

| | |
|---|---|
| Oportunidade Descreva um problema, oportunidade ou decisão que você está enfrentando. | Considerações Quais aspectos você deve levar em conta ao responder a essa oportunidade? |
| O que você antecipa fazer, por quê e quem pode se importar com isso? | Quais opções de ação estão disponíveis para você como resposta? |
| Resultados | Alternativas |

Fonte: Phelps & Fisher, 2011; representação dos autores (Frost *et al.*, 2022). Para o modelo de decisão que fundamenta o protocolo de decisão, consulte Fisher, 2007.

No início e no final de cada período do STIR, realizamos entrevistas mais longas para discutir os objetivos de pesquisa, horizontes e resultados esperados. Para a análise, as conversas baseadas no protocolo de decisão foram tratadas como entrevistas semi-estruturadas. O Pesquisador I também documentou observações etnográficas durante reuniões e experimentos do projeto. No início e no final de cada período do STIR, realizamos entrevistas mais longas para discutir os objetivos de pesquisa, horizontes e resultados esperados. Para a análise, as conversas baseadas no protocolo de decisão foram tratadas como entrevistas semi-estruturadas. O Pesquisador I também documentou observações etnográficas durante reuniões e experimentos do projeto.

Apresentamos aqui um relato condensado dos processos do STIR e seus resultados em relação às reflexões sobre as expectativas do mercado e seu impacto no processo de pesquisa. Nossa narrativa é baseada em uma seleção de trechos significativos das transcrições do STIR. É importante ressaltar que os fragmentos das interações sócio-técnicas apresentados não representam toda a gama de temas e reflexões dentro dos nossos processos do STIR. Como o foco está no papel das exigências do mercado e da indústria, selecionamos apenas as sequências que se referem a esse aspecto.

Definição de metas: Sustentabilidade, eficiência, liberdade de design

Nos projetos de pesquisa estudados, as descrições de problemas e os objetivos não foram determinados pelos pesquisadores individuais, mas foram fornecidos pelos contextos de pesquisa especificados na rede. Além disso, tanto as entrevistas quanto as observações do Pesquisador I durante os exercícios do STIR documentaram que os projetos individuais estavam alinhados com a tradição de suas respectivas instituições de pesquisa e foram moldados por atividades anteriores de pesquisa e inovação.

A longa reputação do Departamento E no desenvolvimento de concreto leve se reflete na expertise do departamento, no conhecimento prático, na rede de parceiros de pesquisa e nas tecnologias utilizadas. É fundamental para o departamento minimizar o consumo de recursos na construção civil, como evidenciado por publicações, palestras públicas e projetos anteriores dos membros do departamento. Ao mesmo tempo, a agenda da rede de pesquisa enfatiza a necessidade de construir mais e mais rápido para atender às demandas globais. A economia de material por meio da construção leve visa (pelo menos parcialmente) reconciliar esses desafios opostos, aos quais o Pesquisador E frequentemente se referia. O desenvolvimento de componentes de construção leve reflete os duplos objetivos de reduzir a massa das construções e as emissões de CO₂ no processo de produção. Além disso, a pré-fabricação em vez do processamento no local, como explicou o Pesquisador E, permite que os componentes sejam produzidos em maior velocidade, "porque, claro, é um processo industrial e depende de você colocar seus produtos no mercado rapidamente".

Para o Pesquisador E, desenvolver componentes de construção que economizam recursos é uma maneira de atender simultaneamente às necessidades ambientais, sociais e econômicas:

"...porque temos que construir mais e mais rápido para as pessoas que em breve vão querer sair de suas casas. [...] E [...], veja aqui, essa é uma viga [...] que tem a mesma capacidade de carga, mas um peso reduzido. No final, isso é sempre um critério de qualidade para nosso próprio trabalho afirmar que podemos fazer a mesma coisa que é atualmente possível, mas com menos peso. Esse é sempre o guia principal."

No Departamento A, como apontou o Pesquisador A, preocupações ambientais, como o consumo excessivo de recursos e a crescente demanda por espaço construído, também desempenham um papel importante. Além disso, o objetivo é aumentar a liberdade de design e aproveitar todo o potencial das tecnologias computacionais para criar sistemas de construção inovadores e flexíveis que contribuam para uma cultura de construção mais sustentável e habitável. O Pesquisador A explicou suas decisões de pesquisa de maneira consistente em termos de criação de novas opções de design.

A questão da sustentabilidade ambiental também foi um ponto central nas declarações do Pesquisador A e se reflete no foco da pesquisa em edifícios de madeira; a madeira é considerada um material renovável que também armazena CO₂. O Pesquisador A explicou que combinar design digital e fabricação robótica poderia aumentar as opções de design, bem como a eficiência do processo e "tornar tudo em alta velocidade, com alto nível de detalhe". Com essas características, esperavam que os novos sistemas de construção resultantes fossem caracterizados por alta flexibilidade e durabilidade.

O Departamento A baseia-se em uma história de desenvolvimento de materiais, design assistido por computador e fabricação robótica, conforme refletido nas tecnologias utilizadas e na expertise associada. O Pesquisador A mencionou inúmeras colaborações intensivas e globais com outros pesquisadores nessas áreas; o departamento também mantém contatos próximos com a indústria da construção doméstica e formuladores de políticas, cujas expectativas eram muito familiares para o pesquisador.

Quanto às especificações estabelecidas pela rede de pesquisa como um todo, estas se referem explicitamente à crise ambiental global e à crise habitacional no contexto do crescimento populacional global. À luz desses desafios, o objetivo geral da rede é promover tecnologias digitais que avancem uma cultura de construção sustentável e contribuam para um ambiente construído de alta qualidade, habitável e sustentável. O quadro de pesquisa abrangente inclui o compromisso de reduzir as emissões de CO₂ e a produção de resíduos, além de aumentar a produtividade da construção civil. Assim, metas sociais e ambientais coexistem lado a lado com metas tecnoeconômicas. Projetos de pesquisa interdisciplinares dentro da rede adotaram esse quadro para definir suas estratégias e objetivos específicos de pesquisa, incluindo trabalhos que minimizam recursos com concreto e madeira. Essas estratégias e objetivos foram fixos e não podiam ser implementados à descrição dos pesquisadores individuais.

Durante os exercícios do STIR, os Pesquisadores A e E expressaram repetidamente que compartilhavam a orientação professada de seus departamentos e da rede em relação aos valores sociais e ambientais. Juntamente com esses valores, e também em consonância com os objetivos gerais da rede, a otimização de processos e sistemas (particularmente em termos de eficiência de tempo) era uma prioridade máxima para eles. Como esses valores podem entrar em conflito entre si, tornaram-se objeto de modulação reflexiva.

Mudança disruptiva, inovação incremental e métricas de sucesso

Embora os dois projetos tenham partido de descrições de problemas e objetivos semelhantes, os pesquisadores enfrentaram desafios diferentes em relação à adoção industrial dos resultados propostos. O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo (Gagg, 2014), e a indústria da construção em concreto é bem estabelecida e estável. Em contraste, os edifícios de madeira estão em ascensão, mas

ainda representam apenas uma pequena parte do total de construções; a indústria de construção em madeira é relativamente pequena. A construção modular é popular no uso da madeira, permitindo a produção em massa de componentes de construção de forma relativamente econômica e eficiente em termos de tempo, mas impõe limitações significativas nas opções de design arquitetônico.

No nosso estudo de caso, os pesquisadores levaram em conta as estruturas das respectivas indústrias. Atender às exigências do mercado era um pré-requisito indispensável para implementar um método de construção mais sustentável que pudesse ganhar espaço além do meio acadêmico. Assim, os valores de produtividade, rentabilidade e comercialização assumiram a prioridade máxima, pois determinariam se os desenvolvimentos dos pesquisadores teriam sucesso. Ambos os pesquisadores anteciparam e abordaram esses requisitos, mas de maneiras distintas, sendo que um deles visualizava a difusão do produto potencial dentro da estrutura industrial existente, enquanto o outro propunha uma mudança setorial.

Na arquitetura, o foco estava em transformar a cultura de construção por meio da disseminação de novas tecnologias de construção em madeira que disruptariam a indústria. Como explicou o Pesquisador A:

Eu gostaria que fosse considerado normal construir exclusivamente em madeira. [...] Enquanto, na indústria [...] você começaria a projetar algo e, em algum momento, alguém diria: bem, de que é feito? Concreto ou aço? E muitas vezes a madeira [é] simplesmente deixada de lado. Então, acho que uma mudança positiva na cultura de construção seria as pessoas me perguntarem, assumindo que fosse feita de madeira, e depois perguntarem: 'é feita de madeira ou de outra coisa?', você sabe, ou, no mínimo, que a madeira estivesse nessa lista, tipo 'É madeira, concreto ou aço?' Como três opções em vez de apenas duas.

Na engenharia, o objetivo era desenvolver soluções mais sustentáveis, mas também tecnicamente e economicamente eficientes, que fossem, portanto, atraentes para a indústria estabelecida. Dessa forma, os resultados de sua pesquisa tornariam a indústria mais sustentável. Para o Pesquisador E, o foco não estava na mudança disruptiva, mas na inovação incremental:

Portanto, nosso primeiro objetivo é tornar os componentes de construção mais leves. Isso é simplesmente necessário, é socialmente necessário. E, a partir disso, claro, segue-se relativamente rápido que as pessoas também têm que aplicá-lo. E isso significa que deve ser fácil de fazer, que eu possa até dizer que não preciso mudar completamente os processos industriais como existem agora. Mas ofereço uma adição. Ofereço uma maneira de aplicar isso de forma diferente para um melhor resultado.

Assim, em suas decisões de pesquisa, os dois pesquisadores adotaram diferentes estratégias para lidar com os supostos requisitos do mercado e da indústria. Critérios tecnoeconômicos desempenharam um papel importante nas decisões de pesquisa tomadas no Departamento E. Aqui, uma questão-chave era como alcançar eficiência material que se traduzisse em eficiência de tempo e custo. A tecnologia em

desenvolvimento precisava ter uma vantagem competitiva em termos tecnoeconômicos; caso contrário, presumivelmente não teria chance de ser adotada. Assim, o objetivo do Pesquisador E tinha que ser "dizer que somos melhores, somos mais leves e mais baratos. E mais rápidos no final." A estratégia não era desenvolver inovações para uma indústria que poderia ter que se adaptar a mudanças políticas futuras. Como afirmou o Pesquisador E:

[...] no momento em que um imposto sobre carbono entrar em vigor, você já terá vencido com algo assim. Se você puder realmente dizer que faremos o mesmo, mas [com] 50%, 60% menos material.

No Projeto de Pesquisa A, por outro lado, a estratégia era destacar as vantagens econômicas dos novos resultados da pesquisa. Esses resultados, explicou o pesquisador, precisavam ser compreensíveis para os atores da indústria e se conectar ao conhecimento, valores e ideias existentes sobre arquitetura e processos de construção. O Pesquisador A esclareceu a ideia referindo-se às reações a um de seus protótipos anteriores:

Poderia ter sido um objeto muito mais elaborado, como esta versão original era. E esse foi, infelizmente, um dos feedbacks que recebemos quando mostramos isso, que parecia ótimo, mas me fazia pensar que era um objeto projetado, e não que era um exemplo de um sistema de construção de vários andares.

Ambos os pesquisadores anteciparam como as indústrias responderiam ao seu trabalho. De certa forma, os pesquisadores adotaram uma postura estratégica em relação ao imperativo tecnoeconômico de aumentar a produtividade, rentabilidade e comercialização; atender a essa condição era visto como um meio para um fim real, ou seja, alcançar uma cultura de construção melhor e mais sustentável. Em outro aspecto, vemos que, uma vez que o imperativo tecnoeconômico é aceito, ele tende a sobrepor todos os outros fins e valores, definindo os próprios padrões para medir sucesso e realização. O Pesquisador A, talvez sem querer, ilustrou esse mecanismo:

E se pudermos até atingir cinco por cento dos edifícios, é um mercado de 13 trilhões de euros por ano. OK, e mesmo cinco por cento de 13 trilhões é ótimo. Então [estou] tranquilo com esse número.

Ganhar dinheiro certamente não era o propósito de sua pesquisa; avançar na sustentabilidade e na liberdade de design era. No entanto, a realização e o sucesso foram avaliados em termos de dinheiro. Por que isso? Talvez estejamos diante de um problema mais fundamental que ocorre quando bens qualitativos, como sustentabilidade ambiental ou liberdade de design, competem com bens quantificáveis, como participação de mercado e volume de mercado. Antes que pesos relativos possam ser atribuídos a bens qualitativos e quantitativos, um padrão comum deve torná-los comparáveis. Uma solução comum é traduzir qualidade em quantidade – valores sociais, culturais ou ambientais em valores econômicos. Nesse caso, o pesquisador buscou expressar a

importância e a desejabilidade de valores não quantificáveis traduzindo-os em valores econômicos. Tal valorização econômica de princípios ambientais não é um processo individual derivado de restrições externas, mas uma rotina estabelecida que depende de acordos sociais baseados em valorações (Prior, 1998; Asdal, 2015). No entanto, estritamente falando, essa tradução é logicamente impossível; qualidade *não* é quantidade, e quantificar bens qualitativos significa, de fato, negar a diferença. Bens qualitativos são considerados apenas se forem valorizados ou “co-modificados” (Asdal, 2015, p. 169-170) em relação a bens quantificáveis. Por essa razão, argumentaríamos que valores sociais, culturais e ambientais literalmente não podem competir com os valores econômicos. Na tradição de buscar uma alocação ótima de recursos, no entanto, apenas o quantificado é governável; assim, essa tradução é uma técnica rotineira em processos de inovação.

No geral, ambos os pesquisadores que participaram de nossos exercícios do STIR consideraram como certo que os requisitos do mercado e da indústria não poderiam ser suspensos ou contornados. Na terminologia do STIR, esses requisitos eram considerados além do alcance da MM e, portanto, além do alcance de modificações colaborativas — uma constatação que aponta para a necessidade de atividades de IRR que busquem um nível mais avançado de política de inovação ao, por exemplo, fornecer incentivos eficazes (Gurzawska *et al.*, 2017; Manzeschke & Gransche, 2020).

Na seção seguinte, discutiremos até que ponto o STIR se mostrou adequado para tornar objetivos de pesquisa conflitantes – em particular, objetivos tecnoeconômicos versus sociais, culturais ou ambientais – passíveis de modulação reflexiva. Apresentaremos duas instâncias em que o STIR 2.0 foi praticado para desafiar a primazia dos objetivos tecnoeconômicos na pesquisa.

ABORDANDO OBJETIVOS CONFLITANTES – “Há pouco que podemos fazer para afetar sua economia”

Vamos considerar os objetivos de pesquisa conflitantes que surgiram durante as interações do STIR no Projeto A. Os pesquisadores I e A estavam discutindo a possibilidade de restringir as opções de design àquelas que atendem à chamada densidade “Goldilocks” – densa o suficiente, mas não excessivamente alta – a fim de economizar espaço e promover a habitabilidade e acessibilidade nas cidades. Embora o desenvolvimento de tecnologias para atender à densidade Goldilocks possa ser um objetivo socialmente desejável, o Pesquisador A explicou que isso conflitaria com os objetivos de aumentar a liberdade de design, demonstrar benefícios econômicos e apresentar opções de design para construção em madeira – ou seja, metas que estavam fixadas no quadro geral do projeto de pesquisa:

Portanto, se tivéssemos discutido restrições, como a questão dos sete andares, isso teria reduzido nosso potencial de impacto. [...] Existem opiniões de que essa densidade Goldilocks é adequada para a vida urbana — não sei se concordo cem por cento com elas — mas acho que são bastante válidas. No entanto, não gostaríamos de restringir nada que estamos projetando ou construindo a isso. Acredito que quanto mais tipos de edifícios, mais alturas, tamanhos e formas forem possíveis, melhor. Isso apoia a tese de expandir o que é viável na construção em madeira.

Aqui, o objetivo de expandir as opções de design para edifícios de madeira e demonstrá-las foi priorizado em relação à promoção de edificações que prometem uma densidade urbana socialmente desejável. As decisões sobre altura e densidade dos edifícios seriam deixadas para futuros atores da construção, como clientes ou planejadores; assim, o pesquisador não precisaria determinar esses parâmetros em seus próprios desenvolvimentos. Nesse caso, o conflito entre diferentes objetivos de pesquisa — expandir opções de design e demonstrar a variedade de edifícios de madeira, de um lado, e contribuir para uma ordem espacial mais habitável e sustentável, do outro — foi gerido dividindo a responsabilidade entre o inovador (que gera opções de design) e os futuros atores da construção (que decidem quais opções realizar). Em suma, poderíamos dizer que a reorientação da pesquisa em direção a resultados sociais mais desejáveis foi descartada em favor de confiar em uma modulação estabelecida, mas ainda não bem-sucedida, por meio de regulamentos e mecanismos de mercado: "Políticas *de fato* de esperar o melhor e deixar o futuro cuidar de si mesmo" (Stilgoe, 2013, p. xv) são amplamente disseminadas, apesar das interações do STIR.

Outro conflito surgiu entre o objetivo de desenvolver edifícios mais duráveis e, portanto, sustentáveis, por um lado, e a otimização da eficiência do processo, por outro. Para o Pesquisador A, o desenvolvimento de métodos de design e produção eficientes, bem como de edifícios duráveis e sustentáveis, era um objetivo central que orientava todas as decisões de pesquisa. No entanto, a eficiência do processo e a longevidade dos edifícios podem entrar em conflito quando o aumento da eficiência torna lucrativo para os investidores demolir edifícios existentes e construir novos rapidamente em grandes quantidades. Isso representaria um efeito rebote não intencional: um novo edifício individual pode ser ambientalmente adequado, mas os incentivos econômicos podem levar a um aumento nas atividades de construção que superam os benefícios da construção sustentável.

O Pesquisador A estava ciente desse potencial colisão de objetivos, mas não via uma maneira de abordá-la em seu trabalho, afirmando que "há pouco que podemos fazer para afetar sua economia". Para ele, isso estava além do escopo de sua pesquisa, e, consequentemente, não surgiu a necessidade de priorizar um desses objetivos conflitantes. Embora isso apenas evitasse o conflito, o Pesquisador A recorreu a outra solução, concluindo que os mecanismos de mercado podem impulsionar a demolição prematura de edifícios e que, sob esses mecanismos, o aumento da eficiência do processo poderia até reforçar essa tendência:

Eu diria que muitos dos edifícios que são considerados descartáveis ou que são projetados [...] para ter uma vida útil de 20 anos e são destruídos após cinco anos são edifícios de qualidade inferior. E por qualidade, não me refiro apenas a materiais baratos, mas também ao design simples.

No entanto, outro resultado — o aumento da qualidade do design — poderia superar esse efeito adverso. Nesse caso, o Pesquisador A escolheu minimizar o potencial de efeitos não intencionais da inovação e resolveu a tensão entre os dois objetivos de uma forma que era compatível com os parâmetros gerais estabelecidos acima. Esses parâmetros estipulam que aumentar a longevidade dos edifícios, a eficiência do processo e as opções de design são compatíveis. Dentro desse quadro, o paradigma de inovação tecnoeconômica permanece incontestado; conflitos entre os objetivos tecnoeconômicos de aumentar a eficiência de tempo e custo e os objetivos sociais, culturais e ambientais de um ambiente construído sustentável e habitável não podem ser abordados enquanto a realização dos primeiros for considerada uma condição prévia para os últimos. Consequentemente, o escopo do pesquisador para a tomada de decisões responsáveis é visto como limitado pelas leis do mercado; eles estão cientes dessas restrições, mas não veem uma maneira ou necessidade de modulá-las. Nesse caso, a abordagem adaptada do STIR, com sua aspiração transformadora, não estimulou um debate crítico sobre a primazia do paradigma tecnoeconômico, sua influência na pesquisa e os possíveis efeitos indesejados dessa pesquisa.

É viável promover a justiça social?

A questão dos efeitos colaterais indesejados também surgiu no Projeto de Pesquisa E. Durante as entrevistas do STIR, os Pesquisadores I e E discutiram se novos métodos para reduzir o consumo de materiais na construção poderiam reforçar a tendência de construir maiores e em maior quantidade. Em um contexto global, argumentou o Pesquisador E, isso levanta questões de justiça social:

Porque a questão é se temos permissão para emitir mais CO₂ agora, por exemplo, apenas porque podemos, porque temos espaço; *de fato*, temos espaço para isso, podemos emitir mais CO₂ do que em Nova Déli, onde novos edifícios estão sendo construídos, simplesmente porque lá há menos espaço disponível por pessoa. É uma questão de justiça que surge repetidamente.

Uma decisão responsável, argumentou o pesquisador, seria abster-se de construir em muitos lugares onde se poderia. No entanto, novamente, eles não viam como incorporar essas considerações em seu trabalho cotidiano; a questão parecia estar além do escopo das micro-decisões tomadas nas práticas de pesquisa:

O problema não é que eu não goste de reconhecer que faria sentido moral para nós consumirmos menos para que outros possam obter mais primeiro, até um ponto em que possamos dizer: ok, agora estamos meio que no mesmo nível. Eu consideraria o problema como uma questão de viabilidade.

O pesquisador estava ciente de que sua pesquisa poderia ter o efeito indesejado de alimentar ainda mais as atividades de construção e, por sua vez, o uso do solo e as emissões de CO₂, possivelmente exacerbando os problemas existentes de justiça global. Mesmo assim, não parecia viável para países ricos reduzir as atividades de construção e as emissões de CO₂ em benefício de outros países. De qualquer forma, o pesquisador não considerava necessário deliberar sobre a questão em sua pesquisa real; em vez disso, optava pela opção mais óbvia e realista de tornar a construção mais eficiente em termos de material, custo e tempo. Embora seja certamente discutível até que ponto um problema global tão complexo pode ser considerado na pesquisa acadêmica, foi notável que não houve tentativas adicionais de discutir possíveis saídas desse dilema. Sugestões do Pesquisador I para pensar, por exemplo, em maneiras de desenvolver um sistema de construção para layouts menores não foram levadas adiante.

Essas interações ilustram que o STIR pode de fato inspirar reflexões sobre pesquisa responsável; os participantes consideraram as implicações sociais e ambientais e os efeitos colaterais de seu trabalho. No entanto, essas considerações permaneceram um tanto abstratas em termos de efeitos atribuíveis a imperativos de mercado, como aumentar os lucros construindo mais em menos tempo. Eles não sabiam como integrar esses aspectos em seu trabalho cotidiano, pois pareciam inadimplíveis, distantes de sua própria esfera de influência e além de suas responsabilidades percebidas. Quando objetivos sociais e ambientais, como durabilidade da construção, flexibilidade de uso e redução das emissões de CO₂, entravam em conflito com metas tecnoeconômicas, estas últimas sempre prevaleciam, menos devido a uma tomada de decisão consciente e definição de prioridades do que à suposição subjacente de que não havia como escapar dos mecanismos de mercado e que apenas os resultados de pesquisa que atendiam aos requisitos econômicos do setor privado poderiam ter algum impacto. Em outras palavras, os resultados da pesquisa poderiam se traduzir em inovações bem-sucedidas apenas se proporcionassem um benefício tecnoeconômico demonstrável comprovado no mercado. Por meio de nossa adaptação do STIR 2.0, que desafiou a suposição de que as dinâmicas a jusante não poderiam ser influenciadas por atividades a montante, ficou claro que os participantes consideravam tanto irrealista quanto inadmissível negligenciar os requisitos do mercado em favor da construção de estruturas duráveis e da promoção da justiça ambiental e social.

QUESTIONANDO SUPosições NA TOMADA DE DECISÃO

Idealmente, o STIR abre espaços para processos de aprendizado reflexivo de segunda ordem, ou seja, reflexões sobre as possíveis implicações sociais da pesquisa, mesmo que isso possa desafiar as suposições subjacentes e as expectativas dos ambientes de pesquisa ou do contexto social. Nas seções a seguir, analisamos instâncias de

aprendizado reflexivo de segunda ordem no contexto do STIR 2.0, que, como descrito acima, buscamos alcançar ao questionar criticamente a primazia do paradigma de inovação tecnoeconômica em reação aos compromissos explícitos de sustentabilidade assumidos pela rede de pesquisa como um todo. No primeiro exemplo, o Pesquisador I questionou o conceito de co-design, que era fundamental para o trabalho do Pesquisador A. No segundo exemplo, o conceito de digitalização democrática discutido durante as sessões do STIR modulou as suposições subjacentes ao processo de tomada de decisão do Pesquisador E. Enquanto o primeiro exemplo aponta possíveis barreiras para a modulação deliberada em termos de inovação responsável, o segundo mostra como a integração de conceitos socioéticos no processo de tomada de decisão pode ter sucesso.

STIR: o conceito de co-design

O trabalho do Pesquisador A em um sistema multiagente para design computacional de edifícios de madeira de vários andares foi fortemente influenciado pela compreensão de co-design da rede de pesquisa. Simplificando, o co-design denota uma abordagem para integrar processos de design e construção por meio de loops de feedback baseados em computador. Isso envolve a colaboração multidisciplinar entre profissionais da construção de diversas áreas, como arquitetura, design estrutural, física da construção e avaliação do ciclo de vida.

Integrar as necessidades ou expectativas de outros stakeholders não era um elemento constitutivo do conceito de co-design do Pesquisador A. O foco estava em integrar requisitos técnicos e ambientais e expertise profissional relacionada, não porque os requisitos dos residentes ou stakeholders fossem considerados irrelevantes, mas porque pareciam incompatíveis com a abordagem numérica e baseada em computador que havia sido escolhida. Como explicou o Pesquisador A:

Então, se alguém quiser usar essa abordagem semelhante, mas talvez também integrar [...] o conhecimento de consultores de varejo ou algo assim, então, você está certo, eles não conseguiram usar essa ferramenta. Se for possível que consigam, por que eles iriam querer? Então, eu acho que isso levanta uma questão mais difícil sobre o que tentar automatizar, porque, pelo menos do meu entendimento e minha experiência na arquitetura na última década, os principais jogadores baseados em dados e numéricos em cada projeto são um certo número de designers estruturais, o arquiteto e o uso de materiais [referindo-se à avaliação do ciclo de vida]. Portanto, é por isso que eu realmente acho que a razão pela qual incluímos a física da construção nisso também é porque é um campo altamente numérico e baseado em dados.

Questões não numéricas escaparam das tecnologias já desenvolvidas e não puderam ser integradas à nova abordagem. Da perspectiva dos estudos de ciência e tecnologia (STS) (Jasanoff, 2004), podemos ver isso como um caso de co-produção, no sentido de que a abordagem tecnológica co-definiu os valores sociais e culturais em jogo – qualidade técnica e ambiental, e não a participação de stakeholders ou da comunidade – e co-moldou as práticas sociais de planejamento, construção e ocupação de

edifícios. Schikowitz (2020, p. 222) aponta que a produção de conhecimento socialmente relevante à qual os pesquisadores aspiram deve tornar a pesquisa "viável ao alinhar compromissos, preocupações, requisitos e práticas divergentes", especialmente em situações de objetivos conflitantes. Neste caso, o alinhamento parece ser realizado por meio da dependência dos pesquisadores em abordagens quantitativas e numéricas.

Em uma ocasião, surgiu uma discussão entre o cientista social e o pesquisador arquitetônico sobre a possibilidade de expandir o método de co-design para incluir perspectivas da comunidade ou dos stakeholders por meio de interfaces definidas. O Pesquisador A argumentou que essas questões eram importantes, mas deveriam ser deixadas para o arquiteto responsável pelo planejamento:

[Isso] é algo que o arquiteto deve fazer, lidar com como o produto ou como o edifício afetará a comunidade. E eu acho que isso continua sendo uma tarefa específica do arquiteto, não uma tarefa baseada na comunidade. Então, a comunidade expressará suas opiniões ou desejos, e cabe ao arquiteto destilá-los e implementá-los dentro deste co-design. Dentro da minha compreensão de design, a voz do povo ainda será ouvida, mas será ouvida através do filtro do arquiteto. E é assim que isso afetará o design. Eu não acho que isso afete diretamente o co-design.

O pesquisador evoca a noção de que o arquiteto é o mestre do processo de construção, integrando todos os requisitos. Para ele, a liberdade significa, antes de tudo, a liberdade de projetar arquitetonicamente. No que diz respeito à co-produção, pode-se afirmar que uma abordagem tecnológica voltada para aspectos e atividades que podem ser representados numericamente foi vista como compatível com os objetivos de expandir as opções de design arquitetônico e aumentar a eficiência do sistema. A conexão entre esses elementos se mostrou bastante estável ao longo do processo do STIR, não sendo desafiada por reflexões deliberadas. Integrar aspectos de qualidade que não podem ser representados numericamente por meio de opções de design participativo, sob essas condições, parecia inviável. Usando o conceito de Schikowitz sobre a produção de conhecimento socialmente relevante, podemos entender este episódio como um esforço do pesquisador para tornar diferentes compromissos, preocupações, demandas e práticas viáveis, recorrendo aos métodos e objetivos quantitativos disponíveis (Schikowitz, 2020).

“Boa” digitalização: “Você não precisa imitar tudo”

No Projeto E, as interações do STIR provocaram discussões sobre as dimensões sociais da pesquisa em um nível bastante fundamental. Pode-se argumentar que tais discussões podem influenciar decisões de pesquisa e, nesse sentido, levar a uma modulação deliberada. Um desses casos se referiu a uma conversa sobre “boa” digitalização e como essa ideia moldou uma decisão de pesquisa pelo Pesquisador E em termos de implicações sociais.

Como mencionado anteriormente, o Projeto E estava desenvolvendo um sistema ciberfísico para a produção de componentes de construção que economizassem material. Durante o processo do STIR, foi tomada a decisão de utilizar um sistema

modular, permitindo a instalação separada de equipamentos individuais, como um scanner a laser ou um extrusor automatizado. Isso possibilitaria que os usuários automatizassem alguns componentes do processo de produção, enquanto mantinham manualmente a operação de outras partes, por enquanto. O Pesquisador E explicou que um sistema modular reduziria os custos de investimento e proporcionaria mais flexibilidade aos usuários:

A questão é: você precisa comprar todo o sistema? [...] Porque esse é o problema, então você acaba com outro monstro, e ou você tem a coisa toda ou não tem. Mas se eu disser que o sistema inteiro também pode ser composto por 3, 4, 5 ou 6 módulos individuais, que eu posso conectar entre si, então a barreira para obter um único módulo e alcançar uma melhoria é menor, e provavelmente você poderá otimizar cada módulo individualmente.

O tema da flexibilidade do usuário e a questão de quando e o que automatizar remetem a uma observação anterior do pesquisador e a uma discussão do STIR sobre "boa" digitalização:

É por isso que acho importante que tenhamos essa discussão [sobre 'boa' digitalização] em nossa [rede de pesquisa], para podermos nos perguntar se precisamos ir nessa direção e em que direção começar, além de onde a digitalização realmente traz valor agregado.

O Pesquisador E acrescentou que a "boa" digitalização deve ser "[distinta] de uma digitalização capitalista ou moldada por capital e [de] uma digitalização ditatorial ou sob uma ditadura", referindo-se às tecnologias de vigilância digital, que o pesquisador considera problemáticas do ponto de vista democrático. No contexto dessa conversa, os Pesquisadores I e E discutiram o que constituiria uma "boa" digitalização, quando a automação faria sentido de uma perspectiva mais ampla do que tecnoeconômica, o que um bom trabalho em sistemas de produção ciberfísicos poderia significar e quais problemas éticos e sociais poderiam surgir da digitalização descontrolada. Eles concordaram que nem tudo deveria ser digitalizado ou automatizado:

Pesquisador E: "Eu acho que você pode fazer isso certo ou errado. [...] Mas, na minha opinião, você não precisa copiar essas coisas [que são feitas na China ou nos EUA], mas pode perguntar: como deveria ser uma democracia? Como deveria ser a digitalização [...] em uma democracia aberta e livre? [...] Mas você deve se perguntar, como é a digitalização em nosso país? Como funcionaria em nossa cultura?" Pesquisador I: "Nós queremos isso, em que forma queremos? Para que propósito?" Pesquisador E: "Sim, exatamente, assim, e então você não precisa imitar tudo, não precisa [digitalizar] tudo."

Observamos aqui uma forma de aprendizado reflexivo para inovações socialmente robustas e, como tal, um caso de modulação deliberada que emergiu das conversas sobre uma digitalização desejável democraticamente, levando à decisão por um sistema modular e refletindo na justificativa que o acompanhava. Ao mesmo tempo, a justificativa para a abordagem modular conflita a questão do que faz sentido para a sociedade com a questão do que faz sentido para as empresas; a digitalização democrática e

socialmente desejável foi representada em termos econômicos, e mais uma vez vemos que considerações sociais podem ser integradas quando não aparecem em oposição, mas sim compatíveis com os requisitos do mercado.

CONCLUSÃO

Dentro do paradigma de inovação tecnoeconômica, supõe-se que resultados socialmente e ambientalmente responsáveis decorrem da inovação tecnoeconômica. Neste artigo, exploramos as oportunidades e limitações da integração sociotécnica ao desafiar a primazia desse paradigma na pesquisa acadêmica.

Em particular, nossa questão foi quais são as chances e limitações de provocar reflexões sobre possíveis conflitos entre os valores de eficiência e produtividade e os valores sociais e ambientais no processo de pesquisa, desafiando assim a primazia do paradigma de inovação tecnoeconômica. Para isso, aplicamos uma versão ligeiramente modificada do STIR, que chamamos de STIR 2.0, ao questionar criticamente suposições e objetivos que conflitam com as metas sociais e ambientais da pesquisa. Os processos do STIR que realizamos em dois projetos mostraram que o paradigma de inovação tecnoeconômica é bastante resiliente à modulação deliberada. Concluímos que questionar tais orientações fundamentais não é suficiente para mitigar a influência dos imperativos de mercado no processo de pesquisa; a modulação em andamento não é suficiente para colocar outras preocupações na agenda em relação a essas expectativas externas, que estão profundamente enraizadas e incentivadas por instituições científicas. Obviamente, uma verdadeira mudança sistêmica em múltiplos níveis também exige modulação a montante e a jusante e, portanto, requer uma governança mais ampla da produção de conhecimento que envolva órgãos governamentais, atores da indústria e da sociedade civil para abordar déficits de mercado (von Schomberg & Hankins, 2019, p. 2).

Embora essas descobertas não sejam uma surpresa completa para os pesquisadores em Integração Sociotécnica, este artigo mostra *como* os atores em andamento lidam com a tensão entre os imperativos de mercado e os valores tecnoeconômicos, de um lado, e os valores e compromissos sociais e ambientais, de outro. Em particular, observamos certos padrões de como os pesquisadores buscaram negociar essas tensões.

Podemos reconhecer uma suposição subjacente em funcionamento e duas maneiras de lidar com situações de tensão nas quais o paradigma tecnoeconômico é desafiado. A suposição tácita subjacente ao quadro geral de pesquisa, assim como aos projetos individuais, era que a comercialização dos resultados prospectivos não era um objetivo entre outros, mas a condição prévia para todos os outros. De acordo com essa suposição, a comercialização não é tudo, mas sem ela, tudo seria nada, dado que produtos

sustentáveis, socialmente e esteticamente atraentes só podem fazer a diferença se forem adotados pelo mercado. Portanto, os objetivos socialmente desejáveis e os tecnoeconômicos não competiam em pé de igualdade; em caso de conflito, a priorização dos primeiros sempre foi predeterminada. Essa suposição, que caracteriza o paradigma de inovação tecnoeconômica em geral (Callon, 2002), não pôde ser desafiada de forma fundamental através de nossos exercícios de STIR.

Os participantes refletiram sobre as implicações sociais de seu trabalho, incluindo efeitos possivelmente indesejáveis decorrentes dos mecanismos de mercado (como o incentivo à demolição e o agravamento da injustiça global). Em algumas situações, modificações de conceitos de pesquisa específicos (co-design) ou estratégias (automação sistêmica ou modular) para integrar preocupações sociais foram consideradas. Nesses casos, surgiu a possibilidade de conflitos de objetivos, mas foram resolvidos por meio de dois padrões argumentativos recorrentes que chamamos de "falta de agência" e "reconciliação, afinal". Por "falta de agência", entendemos que um determinado curso de ação foi considerado inviável por razões técnicas e/ou econômicas, além da esfera de influência do pesquisador individual (por exemplo, a favor ou contra a densidade ideal, demolição de edifícios, aumento da atividade de construção). Outra forma de gerenciar tais conflitos foi apontar como a pesquisa contribuiria para reconciliá-los no futuro "afinal" (por exemplo, construções de qualidade superior às demolidas). A modulação deliberada em favor de preocupações sociais, portanto, ocorreu, mas somente quando se alinhou com os requisitos de mercado. Como resultado, as chances de desafiar criticamente a suposição tácita mencionada anteriormente e iniciar mudanças substanciais por meio de considerações sociais mostraram-se limitadas. No entanto, nossos exercícios de STIR 2.0 levaram a uma melhor compreensão de como as exigências de mercado antecipadas a jusante se estabilizam nas práticas de pesquisa. Pudemos observar como a coprodução de abordagens tecnológicas co-definiu os valores sociais e culturais em jogo e coformou as práticas sociais da pesquisa. Ao mesmo tempo, ficou bastante claro a relevância de tornar a pesquisa tecnológica viável ao alinhar compromissos, preocupações, requisitos e práticas divergentes.

Essas descobertas apontam para a falta de alternativas à difusão orientada pelo mercado dos resultados da pesquisa, dificultando que os pesquisadores visualizem sucesso e realização independentemente dos requisitos de mercado. Se a aspiração da pesquisa é a mudança por meio da adaptação dos resultados de pesquisa em um campo específico, os pesquisadores parecem perceber o esperado a jusante como de enorme importância. Cada desenvolvimento, não importa quão socialmente desejável e ecologicamente sustentável, deve então provar sua capacidade de competir de acordo com a lógica do campo. Isso indica que uma agenda a montante sozinha, mesmo uma com um compromisso normativo social e ambiental explícito, como nos casos apresentados, só pode ter sucesso junto com uma consideração crítica do que está a jusante. Somente

considerando e moldando simultaneamente todos os momentos do processo de inovação é que podem ser concebidos caminhos de desenvolvimento mais socialmente responsáveis e sustentáveis. Nichos derivados de políticas e subsidiados para inovações sustentáveis, como os que a Alemanha criou para energias renováveis, são promissores, mas ainda são escassos no setor da construção. Assim, para reorientar a pesquisa em arquitetura digital e construção para longe dos imperativos tecnoeconômicos, a integração sociotécnica precisaria enfrentá-los em todos os níveis: a montante, em andamento e a jusante (Fisher & Schuurbiers, 2013; cf. Yaghmaei & van de Poel, 2021). Criar nichos como espaços de incubação para novidades radicais, locais para processos de aprendizado e espaços para construir redes sociais de apoio (Geels, 2002, p. 1261) pode contrabalançar os recorrentes padrões argumentativos de "falta de agência" e "reconciliação, afinal", na prática da pesquisa. Mesmo que os nichos não consigam escapar dos imperativos tecnoeconômicos, eles são, até certo ponto, espaços protegidos para experimentação que têm um caráter mais aberto de configurabilidade e não exigem uma conexão imediata com regimes existentes, como os requisitos de mercado, para inovar.

Deixe-nos enfatizar novamente que o problema não está na eficiência tecnológica em si; as dificuldades surgem, no entanto, quando ela é definida e medida exclusivamente em termos econômicos, com valores sociais e ambientais considerados apenas na medida em que podem ser traduzidos em termos econômicos. O STIR e nossa abordagem de STIR 2.0 podem evidentemente criar consciência desse problema estrutural, mas não resolvê-lo. Ou, inversamente, a integração sociotécnica na pesquisa não pode resolver o problema, mas pode criar consciência dele. O espaço para modulação em andamento, nos casos que estudamos, foi moldado por portões que foram abertos mais a montante e pela antecipação das reações do mercado e da indústria a serem enfrentadas mais a jusante. De acordo com a literatura do STIR, este artigo mostra que são necessários maiores esforços além das constelações em andamento para provocar uma ruptura com os imperativos tecnoeconômicos na pesquisa tecno-científica. Além disso, ao apontar os padrões de "falta de agência" e "reconciliação, afinal", o artigo pode lançar alguma luz sobre como o paradigma de inovação tecnoeconômica consegue se tornar resiliente a questionamentos críticos, estabilizando assim os imperativos a montante e a jusante dentro das práticas de pesquisa em andamento.

REFERÊNCIAS

- Asdal, K. (2015). Enacting values from the sea. On innovation devices, value practices, and the co-modification of markets and bodies in aquaculture. In I. Dussauge, C.-F. Helgesson & F. Lee (Eds.), *Value Practices in the Life Sciences and Medicine* (pp. 168-185). University Press Scholarship Online.

- Braun, K., & Kropp, C. (2021). Schöne neue Bauwelt? Versprechen, Visionen und Wege des digitalen Planens und Bauens. In K. Braun & C. Kropp (Eds.), *In digitaler Gesellschaft. Neukonfigurationen zwischen Robotern, Algorithmen und Usern* (pp.135-165). Transcrição.
- Bogner, A., Decker, M., & Sotoudeh, M. (2015). Technikfolgenabschätzung und Responsible Innovation. In A. Bogner, M. Decker, & M. Sotoudeh (Eds.), *Responsible Innovation. Neue Impulse für die Technikfolgenabschätzung?* (pp. 11-28). Nomos.
- Burget, M., Bardone, E., & Pedaste, M. (2017). Definitions and conceptual dimensions of responsible research and innovation: A literature review. *Science and Engineering Ethics*, 23(1), pp. 1-19. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-016-9782-1>
- Callon, M. (2002). From Science as an Economic Activity to Socioeconomics of Scientific Research: The Dynamics of Emergent and Consolidated Techno-economic Networks. In P. Morowski & E. M. Sent (Eds.), *Science Bought and Sold. Essays in the Economics of Science* (pp. 277-317). University of Chicago Press.
- Coroamă, V. C., & Mattern, F. (2019). Digital Rebound – Why Digitalization Will Not Redeem Us Our Environmental Sins. *Proceedings of the 6th international conference on ICT for Sustainability*, ICT4S 2019 (2382).
- Delgado, A., & Åm, H. (2018). Experiments in interdisciplinarity: Responsible research and innovation and the public good. *PLoS biology*, 16(3), e2003921. Disponível em: <https://doi:10.1371/journal.pbio.2003921>
- Fisher, E., Mahajan, R. L., & Mitcham, C. (2006). Midstream modulation of technology: governance from within. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 26(6), 485-496. Disponível em: <https://doi:10.1177/0270467606295402>
- Fisher, E. (2007). Ethnographic Invention: Probing the Capacity of Laboratory Decisions. *Nanoethics* 1, 155-165. Disponível em: <https://doi:10.1007/s11569-007-0016-5>
- Fisher, E., & Schuurbiers, D. (2013). Socio-technical integration research: Collaborative inquiry at the midstream of research and development. In N. Doorn, D. Schuurbiers, I. van de Poel & M. E. Gorman (Eds.), *Early engagement and new technologies: Opening up the laboratory. Philosophy of Engineering and Technology* (vol 16, pp. 97-110). Springer. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7844-3_5
- Fisher, E., O'Rourke, M., Evans, R., Kennedy, E. B., Gorman, M. E., & Seager, T. P. (2015). Mapping the integrative field: Taking stock of socio-technical collaborations. *Journal of Responsible Innovation*, 2(1), 39-61. Disponível em: <https://doi:10.1080/23299460.2014.1001671>
- Fisher, E., Konrad, K.E., Boenik, M., Schulze Greiving-Stimberg, V.C., Walhout, B. (2016). Building an Agenda for Socio-Technical Integration Approaches. In D. M. Bowman, A. Dijkstra, C. Fautz, J. S. Guivant, K. Konrad, K., H. van Lente & S. Woll (Eds.), *Responsibility and Emerging Technologies: Experiences, Education and Beyond* (pp. 43-56). Amsterdã.
- Flipse, S. M., Van Der Sanden, M. C., & Osseweijer, P. (2013). Midstream modulation in biotechnology industry: Redefining what is 'part of the job' of researchers in industry. *Science and Engineering Ethics*, 19(3), 1141-1164. Disponível em: <https://doi:10.1007/s11948-012-9411-6>
- Flipse, S. M., & Van De Loo, C. J. (2018). Responsible innovation during front-end development: increasing intervention capacities for enhancing project management reflections on complexity. *Journal of Responsible Innovation*, 5(2), 225-240. Disponível em: <https://doi:10.1080/23299460.2018.1465168>
- Gagg, C. R. (2014). Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis. *Engineering Failure Analysis*, 40(5), 114-140. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.engfailanal.2014.02.004>

- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257-1274. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Gurzawska, A., Mäkinen, M., & Brey, P. (2017). Implementation of Responsible Research and Innovation (RRI) Practices in Industry: Providing the Right Incentives. *Sustainability*, 9(10), 1759. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/10/1759>
- Jasanoff, S. (2004). The idiom of co-production. In S. Jasanoff (Ed.), *States of Knowledge. The co-production of science and social order* (pp. 1-13). Routledge.
- Joly, P.-B., & Rip, A. (2012). Innovationsregime und die Potentiale kollektiven Experimentierens. In G. Beck & C. Kropp (Eds.), *Gesellschaft innovativ. Wer sind die Akteure?* (pp. 217-233). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Konrad, K., Rip, A. & Greiving-Stimberg, V. S. (2017). Constructive Technology Assessment-STS for and with technology actors. *EASST review*, 36(3), 15-19. Disponível em: https://easst.net/wp-content/uploads/2017/11/review_2017_11.pdf
- Kropp, C. (2021). Embedded Humanism: Chancen und Risiken von STIR für eine transformative TA. In R. Lindner, M. Decker, E. Ehrenspurger, N. B. Heyen, S. Lingner, C. Scherz & M. Sotoudeh (Eds.), *Gesellschaftliche Transformation: Gegenstand oder Aufgabe der Technikfolgenabschätzung* (22nd ed., pp. 119-131). Nomos.
- Kuzma, J., & Roberts, P. (2018). Cataloguing the barriers facing RRI in innovation pathways: a response to the dilemma of societal alignment. *Journal of Responsible Innovation*, 5(3), 338-346. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23299460.2018.1511329>
- Lange, S., Pohl, J. & Santarius, T. (2020). Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics*, 176, 106760. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>
- Lee, G., & Borrmann, A. (2020). BIM policy and management. *Construction Management and Economics* 38 (5), pp. 413-419. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01446193.2020.1726979>
- Lukovics, M., & Fisher, E. (2017). Socio-technical integration research in an Eastern European setting: Distinct features, challenges and opportunities. *Society and Economy*, 39(4), 501-528. Disponível em: <https://doi.org/10.1556/204.2017.004>
- Manzeschke, A., & Gransche, B. (2020). Aufs Ganze gesehen. In B. Gransche, & A. Manzeschke (Ed.), *Das geteilte Ganze* (pp. 235-347). Springer Fachmedien.
- Mayntz, R. (2015). Technikfolgenabschätzung – Herausforderungen und Grenzen. In A. Bogner, M. Decker & M. Sotoudeh (Eds.), *Responsible Innovation. Neue Impulse für die Technikfolgenabschätzung?* (1^a ed., pp. 29-46). Edição Sigma da Nomos (Gesellschaft, Technik, Umwelt, Neue Folge). Disponível em: <https://doi.org/10.5771/9783845272825-29>
- Morozov, E. (2013). *To Save Everything, Click Here: The Folly of Technological Solutionism*. Nova York: Public Affairs.
- OECD (2019). *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*. OECD Publishing. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>
- Owen, R., Macnaghten, P., & Stilgoe, J. (2012). Responsible research and innovation: From science in society to science for society, with society. *Science and Public Policy*, 39(6), 751-760. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/scipol/scs093>
- Owen, R., Stilgoe, J., Macnaghten, P., Gorman, M., Fisher, E., & Guston, D. (2013). A framework for responsible innovation. In M. Heintz, R. Owen, & J. R. Bessant (Eds.), *Responsible Innovation* (1st ed., pp. 27-50). John Wiley & Sons.

- Phelps, R., & Fisher, E. (2011). Legislating the Laboratory? Promotion and Precaution in a Nanomaterials Company. In S. J. Hurst (Ed.), *Biomedical Nanotechnology. Methods and Protocols* (pp. 339-358). Human Press.
- Prior, M. (1998). Economic Valuation and Environmental Values. *Environmental Values*, 7(4), 423-441.
- Ribeirinho, M. J., Mischke, J., Strube, G., Sjödin, E., Blanco, J. L., Palter, R., Biörck, J., Rockhill, D., & Andersson, T. (2020). *The next normal in construction. How disruption is reshaping the world's largest ecosystem*. McKinsey & Company.
- Roland Berger (2016). *Digitization in the construction industry. Building Europe's road to "Construction 4.0"*. Roland Berger GmbH.
- Schikowitz, A. (2020). Creating relevant knowledge in transdisciplinary research projects – Coping with inherent tensions. *Journal of Responsible Innovation*, 7(2), 217-237. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23299460.2019.1653154>
- Schuurbiers, D. (2011). What happens in the lab: Applying midstream modulation to enhance critical reflection in the laboratory. *Science and Engineering Ethics*, 17(4), 769-788. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11948-011-9317-8>
- Stilgoe, J. (2013). Foreword: Why Responsible Innovation? In M. Heintz, R. Owen, & J. R. Bessant (Eds.), *Responsible Innovation. Managing the Responsible Emergence of Science and Innovation in Society* (pp. xi-xvi). Wiley.
- Stubbe, J. (2020). Sechs Thesen für gelingende Integrierte Forschung. In B. Gransche & A. Manzeschke (Eds.), *Das geteilte Ganze* (pp. 197-211). Springer Fachmedien.
- Timmermans, J. (2017). Mapping the RRI Landscape: An Overview of Organisations, Projects, Persons, Areas and Topics. In L. Asveld, R. van Dam-Mieras, T. Swierstra, S. Lavrijssen, K. Linse, & J. van den Hoven (Eds.), *Responsible Innovation 3* (pp. 21-47). Springer International Publishing.
- UN (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights*. UN Department of Economic and Social Affairs, Population Division. ST/ESA/SER.A/423.
- UN (2020). *Policy Brief: COVID-19 in an Urban World*. United Nations.
- UNEP (2020). *Global Status Report for Building and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. United Nations Environment Programme.
- Von Schomberg, R. (2008). Prospects for Technology Assessment in a framework of responsible research and innovation. In M. Dusseldorf & R. Beecroft (Eds.), *Technikfolgen abschätzen lehren: Bildungspotenziale transdisziplinärer Methoden*, (pp. 39-61). VS Verlag.
- Von Schomberg, L., & Blok, V. (2021). Technology in the Age of Innovation: Responsible Innovation as a New Subdomain Within the Philosophy of Technology. *Philosophy & Technology*, 34, 309-323. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13347-019-00386-3>
- Von Schomberg, R., & Hankins, J. (2019). Introduction to the International Handbook on Responsible Innovation. In R. von Schomberg & J. Hankins (Eds.), *International Handbook on Responsible Innovation. A Global Resource* (pp. 1-11). Edward Elgar Publishing.
- Yaghmaei, E., & Van De Poel, I. (2021). *Assessment of Responsible Innovation: Methods and Practices*. Routledge.
- Zhang, L., Balangé, L., Braun, K., Di Bari, R., Horn, R., Hos, D., Kropp, C., Leeistner, P., & Schwieger, V. (2020). Quality as Driver for Sustainable Construction – Holistic Quality Model and Assessment. *Sustainability*, 12(19), 7847. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12197847>