

Sistema de Inovação do Biogás do Brasil sob a ótica do Emergentismo: Cruzamento de teorias de sistemas

COSME POLESE BORGES

MAURICIO URIONA MALDONADO

Introdução

O desenvolvimento de sistemas de inovação de bioenergias são desejáveis para melhor integrar sistemas sociotécnicos, em formações mais sustentáveis. O sistema de inovação do biogás do Brasil, ainda está em fase de formação, onde depende amplamente das regras do ambiente (DE OLIVEIRA & NEGRO, 2019). Uma vertente filosófica capaz de acessar estas regras do ambiente é o Emergentismo. A aplicação do modelo Composição, Ambiente, Estrutura e Mecanismo (CESM) é testada para formular hipóteses mecanísticas sobre o desenvolvimento de um sistema de inovação (BUNGE, 2003).

Problema de Pesquisa e Objetivo

O problema de pesquisa possui duas vertentes. A vertente teórica busca responder como as visões filosóficas podem ser utilizadas para complementar a teoria dos sistemas de inovação? A vertente prática busca determinar quais mecanismos e estruturas são mais relevantes para o desenvolvimento do biogás no Brasil? O objetivo deste artigo é a caracterização das partes do sistema a partir de uma revisão não estruturada da literatura, permitindo uma análise de mecanismos, em busca dos processos principais que vem tornando possível o desenvolvimento do sistema.

Fundamentação Teórica

O Emergentismo é uma corrente filosófica que mantém as partes saudáveis do holismo e do reducionismo, combinando análise e síntese, sem buscar reduzir o macro em micro, ou vice-versa. Ao negar o determinismo linear e reducionista, Von Bertalanffy (1968) como um dos precursores da teoria geral dos sistemas, a fundamentou na observação de fenômenos complexos, que posteriormente originou a teoria dos sistemas de inovação. Para esta teoria, explicar um sistema é propor os mecanismos que fazem ele desenvolver-se (BUNGE, 2003).

Metodologia

O procedimento adotado é o modelo de sistema CESM (composição, ambiente, estrutura e mecanismo), do inglês (composition, environment, structure and mechanism), proposto por Bunge (2003), o modelo considera que qualquer sistema ? pode ser modelado, a qualquer instante, como uma quádrupla: $\mu(?) =$.

Análise dos Resultados

O modelo utilizado permitiu a definição de mecanismos que tentam conjecturar entradas e saídas em um sistema de inovação. As entradas e saídas foram indicadas como mecanismos de oferta e demanda. Destaca-se a necessidade de mobilização de recursos nacionais para a cadeia do gás como um todo. Visto que o governo federal ainda reluta em aprovar incentivos mais específicos para o desenvolvimento do biogás (DE OLIVEIRA & NEGRO, 2019). O caso estudado indica dois novos blocos no diagrama da Pesquisa em Transições de sistemas sociotécnicas (ZOLFAGHARIAN, 2019).

Conclusão

Este artigo mostrou que o modelo do Emergentismo é uma opção viável para complementar os paradigmas da teoria da inovação, mas que a definição entre reducionismo e holismo é superficial para compreensão dos mecanismos. As funções dos sistemas de inovação se mostraram úteis para o desenvolvimento do modelo permitindo a formulação e discussão dos mecanismos. A parte prática da aplicação do modelo indicou a necessidade de subsídios para o desenvolvimento do biogás no Brasil, principalmente na parte microeconômica das hipóteses formuladas.

Referências Bibliográficas

DE OLIVEIRA, Luiz G. S.; NEGRO, Simona O. Contextual structures and interaction dynamics in the Brazilian Biogas Innovation System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 107, p. 462–481, 2019. BUNGE, Mario A. *Emergence and convergence: qualitative novelty and the unity of knowledge*. Toronto: University of Toronto, 330 p. 2003. VON BERTALANFFY, Ludwig. *General system theory: Foundations, Development, Applications*. George Braziller. New York. 1968. ZOLFAGHARIAN, Mohammadreza et al. Studying transitions: Past, present, and future. *Research Policy*, v. 48, n. 9, p. 103788, 2019.

Palavras Chave

Sistemas de Inovação, Biogás, Emergentismo

Agradecimento a órgão de fomento

Os autores agradecem ao CNPq pelo fomento a esta pesquisa.

Sistema de Inovação do Biogás do Brasil sob a visão do Emergentismo: Cruzamento de teorias de sistemas

1. Introdução

Diversas inovações tecnológicas e institucionais são necessárias para preservar a natureza, uma necessidade característica do período Antropoceno. Algumas das inovações relevantes para este fim são: produtos e processos mais eficientes, novas formas de consumo, economia compartilhada, energias renováveis, entre outras. Algumas destas inovações, como este artigo destaca, merecem atenção particular, devido a sua capacidade de integrar sistemas sociotécnicos complexos em modelos amplamente mais sustentáveis (MARKARD, 2012). Uma destas inovações que merecem atenção é associada ao campo tecnológico do biogás pois permite integrar diversos sistemas sociotécnicos de forma estratégica, como os sistemas de energia e resíduos. O biogás é gerado a partir da decomposição controlada de materiais orgânicos, este gás é um combustível renovável que pode ser usado para diversos fins.

Embora o Brasil possua um Sistema de Inovação de Biogás em maturação, considera-se que a visão sistêmica e filosófica, ainda é pouco empregada para solucionar as interações limitadas e localizadas deste sistema (DE OLIVEIRA & NEGRO, 2019). Portanto este é um desafio ontológico que necessita de uma visão específica que considere ao mesmo tempo o reducionismo e o holismo que por vezes parece se sobrepor na teoria dos sistemas de inovação. Neste contexto, a abordagem do Emergentismo, surge como uma alternativa para conjecturar mecanismos que possam aumentar as interações neste sistema (BUNGE, 2003). Neste cruzamento de teoria, filosofia e positivismo, este artigo busca responder: Como as visões filosóficas podem ser utilizadas para complementar a teoria dos sistemas de inovação? Quais mecanismos e estruturas estão pouco desenvolvidas, que até o presente não fizeram do biogás no Brasil uma prática mais desenvolvida? Em indagando estas perguntas pode-se trazer conclusões relevantes para a Teoria das Transições Sociotécnicas, principalmente para as classificações das pesquisas desta área (ZOLFAGHARIAN, 2019)

Este artigo está dividido em seis capítulos, sendo o Capítulo 1 a presente introdução, o Capítulo 2 compreende a revisão teórica, onde exploram-se sínteses dos construtos teóricos de análise de sistemas, como o holismo e o reducionismo ou individualismo; em seguida explora-se o modelo do Emergentismo como proposto por Bunge e na última parte da revisão é apresentado o conceito de sistemas de inovação junto de uma breve introdução ao sistema de inovação de biogás do Brasil. O capítulo 3 apresenta o método e a classificação desta pesquisa, como predominante teórica e hipotético-dedutiva. O Capítulo 4 apresenta os resultados, inicialmente os componentes, estruturas e partes do ambiente, e depois os mecanismos conjecturados. O capítulo 5 apresenta uma discussão desta pesquisa e o Capítulo 6 dispõe conclusões para seu aprimoramento.

2. Revisão Teórica

2.1. Holismo e reducionismo

Análises de sistemas possuem diferentes vertentes filosóficas que definem a abordagem do pesquisador perante o objeto de análise, geralmente elas são posicionadas em sua base, entre holismo e reducionismo. Além destas, pode-se destacar o Emergentismo ou sistemismo de Bunge (método de redução ao sistema), que é um método de análise e síntese que divide e conjuga o sistema para um realismo científico (KERN, 2011). Cada um dos modelos segue uma ontologia particular. Por isso, faz-se necessária a compreensão das visões mais elementares, para depois uma compreensão do modelo do Emergentismo.

Inicialmente o holismo e o reducionismo posicionam dois paradigmas ou visões dentro da ciência e da filosofia. Estes conceitos fornecem abordagens fundamentalmente diferentes em relação a visão, interpretação e razão sobre o mundo. Enquanto o reducionismo enfatiza as partes constituintes de um sistema, o holismo enfatiza um sistema em sua totalidade. O reducionismo foi protagonizado pelas ideias de Isaac Newton e Rene Descartes, os quais defendiam que a racionalidade impõe que, o que não pode ser apreendido pela lógica matemática, deve ser ignorada pelos indivíduos. O reducionismo assim, busca uma descrição unificada do todo, através da sua redução a um conjunto de componentes elementares, que existem em um nível mais simples ou mais fundamental. A partir dos quais qualquer fenômeno pode ser explicado como uma combinação, ou adição dessas partes (VON BERTALANFFY, 1968). Esta visão busca explicar como as características de um nível superior de um sistema, surge das suas partes elementares, de forma que os recursos de nível superior são relativamente ignorados dentro da investigação, permitindo ao pesquisador, se concentrar nas partes de nível inferior constituindo o sistema (SILVA, 2018).

O método reducionista é considerado estritamente analítico e se fundamenta na fragmentação e isolamento de uma região observável, com o intuito de descobrir suas propriedades para então reconstruir conceitual e experimentalmente o todo (SILVA, 2018). Assim, essa abordagem se concentraria em entender estas partículas, e como elas se combinam para gerar as funções de alto nível e comportamento da célula, ao invés de se concentrar nas características da própria célula. O reducionismo foi o paradigma metodológico predominante até o século XIX (PRADO, 2006).

Para o filósofo Austríaco Karl Popper, “como filosofia, o reducionismo é um fracasso (...) vivemos num universo de novidades emergentes; de novidades que, em regra, não são completamente redutíveis a quaisquer estados precedentes”. O holismo então é uma forma mais adequada para interpretação de sistemas sociais, o holismo fundamenta a visão sistêmica, mostrando que o todo apresenta características diferentes das características específicas de suas partes constituintes. A visão do todo permite conhecer suas partes componentes e o inter-relacionamento entre elas. O holismo postula a ideia de que as propriedades do conjunto não podem ser explicadas pelas propriedades de suas partes (PESQUEUX, 2008).

Ao negar o determinismo linear e reducionista, Von bertalanffy (1968) como um dos precursores da Teoria Geral dos Sistemas, a fundamentou na observação de fenômenos complexos. O autor afirma ainda que mesmo os fenômenos mais simples são influenciados por uma infinidade de causas que se interconectam não linearmente e são dificilmente determinadas. Radicalmente, deduz-se que todos elementos se influenciam e são causa e efeito entre si. O autor ainda evidencia a abertura deste novo paradigma científico pautado na não linearidade e multi-causalidade, o qual compreende os fenômenos organizados em sistemas estruturalmente hierárquicos, dispostos em estratos de complexidades crescente e compostos por elementos heterogêneos, interativos e adaptativos. O holismo então remete a uma impossibilidade analítica, em virtude da incapacidade de delimitação do fenômeno observado, haja vista a aceitação das multi-causalidades (SILVA, 2018).

Fenômenos de natureza complexa podem ser considerados como parte de sistemas abertos compostos por uma grande quantidade de elementos heterogêneos dos quais se emergem padrões irredutíveis ao plano das partes individuais (HAYEK, 1964). Por exemplo, a psicologia social analisa o comportamento dos indivíduos em um contexto social, porque o comportamento do grupo, não pode ser totalmente compreendido ao olhar o indivíduo em isolamento. Da mesma forma, muitos fenômenos como a umidade da água, só emergem quando dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio são combinados para criar água, nenhum dos átomos possui esta característica em isolamento, e portanto, só podemos falar da umidade da água quando olhamos as partes como um todo.

Quando contrastados o reducionismo e o holismo levam uma série de perspectivas fundamentalmente diferentes sobre questões básicas, como causalidade, objetividade, estrutura, dinâmica etc. Enquanto o holismo propõe uma visão de cima para baixo, da causalidade e uma visão de processo dinâmico para o mundo, que é de uma natureza subjetiva, o reducionismo do outro lado proporciona uma abordagem mais estática de baixo para cima, e uma perspectiva objetiva. Mais interessante talvez seja entender a dimensionalidade destes conceitos, enquanto o reducionismo pode ser considerado monodimensional o holismo é multidimensional. Dado que abordagens reducionistas se esforçam ativamente para reduzir as considerações para uma única dimensão. Já abordagens holísticas baseiam-se no conceito da emergência, pelo qual fenômenos e padrões emergem qualitativamente quando colocamos as peças juntas, por isso, abordagens holísticas colocam grande ênfase na multidimensionalidade dos fenômenos. Os paradigmas ainda podem ser classificados entre estático e dinâmico. As abordagens reducionistas estão mais focadas nas prioridades estáticas das peças elementares enquanto as holísticas costumam ser orientadas para o processo em si, e sua manutenção, são mais dinâmicas (CRESWELL, 2010).

2.2. Emergentismo

O sistemista de Bunge ou emergentismo, destaca que o mundo natural e o social estão causalmente interligados e, portanto, o conhecimento desses mundos interligados precisa ser interconectado, ou seja, não poderia haver ensinamento ou disciplinas isolados. Para Bunge a causalidade não é uma categoria de relação entre ideias, mas sim, uma categoria de conexão e determinação, correspondendo ao tratamento dos fatos (externos ou internos) do mundo (KERN, 2011).

De acordo com Bunge (2003) existem três principais visões de mundo sobre a estrutura do universo e nosso conhecimento sobre ele. Uma delas é o individualismo que de acordo com Kern et al. (2011), é uma visão de mundo ou ontologia que embasa o reducionismo. O individualismo, portanto, está relacionado com a ideia da decomposição do todo em suas partes constituintes para se obter a compreensão do todo. O oposto é o holismo, segundo o qual o universo é um lugar homogêneo, de modo que cada parte influencia todas as outras partes. No entanto, o argumento central de Bunge é que ambos podem ser considerados deficientes. O individualismo, por apenas estudar os componentes dos sistemas, releva sua estrutura (organização ou arquitetura) e ignora suas propriedades emergentes. O holismo, por outro lado, considera a estrutura dos sistemas, porém minimiza as ações individuais e minimiza a explicação de suas propriedades emergentes.

A alternativa para ambos é o sistemismo ou Emergentismo. Este paradigma ou ontologia é a visão de que tudo é um sistema ou um componente de um sistema (BUNGE, 2003). O emergentismo é uma alternativa tanto para o micro-reducionismo ("tudo vem de baixo") quanto para o macro-reducionismo ("tudo vem de cima"). O Autor sintetiza suas ideias sugerindo que o individualismo vê as árvores, mas perde a floresta, enquanto o holismo vê a floresta, mas desconsidera as árvores, e, somente uma abordagem sistêmica é capaz de facilitar a nossa percepção tanto das árvores e seus componentes, quanto da floresta e seu ambiente maior (BUNGE, 2003, p. 40). Assim, o pesquisador introduz a noção de um mecanismo de *modus operandi* – o processo ou processos que fazem um sistema funcionar. São as hipóteses mecanísticas. Um mecanismo é um conjunto de processos no sistema, associados de tal modo que eles provocam ou previnem alguma mudança – ou o surgimento de uma propriedade ou, então, outro processo – no sistema como um todo (BUNGE, 2003, p. 20). Como complemento, de acordo com os pressupostos do emergentismo, a elucidação destes mecanismos não somente permite entender o sistema, mas também controlá-lo (BUNGE, 2004)

Quando um mecanismo em um sistema é conjecturado e encontrado, pode-se afirmar que o comportamento do sistema em questão foi explicado. Caso contrário, tem-se apenas uma descrição ou uma subsunção (i.e., inserção de alguma coisa num contexto mais amplo) sob uma generalização. Ou seja, explicar um sistema é propor os mecanismos que fazem ele desenvolver-se (ou, então, manter-se ou destruir-se) (BUNGE, 2003, p. 23). Assim, a emergência, o comportamento e o desmantelamento dos sistemas são explicados não somente em termos de sua composição e do ambiente, mas também de sua estrutura global interna e externa.

Bunge (2000b) postula que o sistemismo mantém as partes saudáveis do holismo e do individualismo (reducionista), combinando análise e síntese, sem buscar reduzir o macro em micro, ou vice-versa. Segundo Bunge (2003), um sistema é um objeto estruturado, com propriedades inexistentes em seus componentes, que só podem ser observados quando fenômenos e padrões emergirem qualitativamente ao observar o conjunto dos componentes. Esta propriedade emergente impõe que nada existe permanentemente isolado. A proposta de emergentismo apresentada por Bunge se baseia nos seguintes postulados (BUNGE, 2000):

- Tudo que existe, seja concreto ou abstrato, pode ser considerado como um sistema, ou um componente de um sistema existente ou potencial;
- Sistemas possuem propriedades emergentes que seus componentes, individualmente, não apresentam;
- A abordagem sistêmica deveria ser utilizada em todo e qualquer problema;
- Ideias deveriam ser agrupadas em sistemas (teorias);
- A validação de qualquer coisa, seja uma ideia ou artefato, utiliza uma comparação e assume que a referência utilizada é válida.

2.3. Sistemas de Inovação de Biogás

Uma abordagem holística amplamente utilizada na literatura de inovação é a dos Sistemas de inovação. A teoria destaca pressupostos da teoria de sistemas complexos, é oriunda da economia evolucionária e parte do pressuposto que a competitividade é resultado da racionalidade dos agentes e da procura por lucro (LUNDVALL, 1992). O viés da sustentabilidade é mais recente e implica que existem forças mais importantes para o desenvolvimento do sistema como um todo que apenas o lucro (MARKARD, 2012). Esta lente teórica considera que a mudança tecnológica é um processo não linear, complexo, dinâmico, interativo e multidirecional, formados pelas diversas interações, entre atores, agentes públicos e privados que lidam com ciência, tecnologia e inovação, com o objetivo de promover o desenvolvimento e a difusão de inovações (URIONA MALDONADO; GROBBELAAR, 2019). Ainda, um sistema de inovação é medido em função das conexões e do conhecimento do sistema e pode ser reduzido a funções específicas, como: atividades empreendedoras, desenvolvimento e absorção de conhecimento, difusão de conhecimento através de redes, orientação de pesquisa, formação de mercado, mobilização de recursos nacionais e internacionais, legitimidade formal e informal (NEGRO & HEKKERT, 2008).

Neste contexto um sistema de inovação do biogás é particularmente importante por algumas razões, sendo o biogás um gás combustível oriundo do processamento de matéria orgânica, ele pode ser produzido de forma descentralizada, próximo a demanda, criando independência energética e reduzindo o desperdício de matéria orgânica (NEVZOROVA, 2020). As formas normais de disposição destes resíduos, como aterros, lixões e composteiras, são soluções de pouca tecnologia e que emitem muito metano (principal composto do biogás). O metano é cerca de 25 vezes mais nocivo a atmosfera que o dióxido de carbono (BLEY Jr, 2015). Por isso, o desenvolvimento deste sistema é de interesse social, em termos de comunidades e em termos de geração de renda a partir da energia. Do ponto de vista técnico o

sistema, é dependente de tecnologias (e.g., tratamento do substrato tratado em biodigestores, tratamento do gás utilizado em geradores e processos), além de processos químicos bem controlados, para manter a biota que conduz a metano-gênese dentro dos biodigestores. O aspecto técnico é extremamente importante, sendo que as tecnologias mais desenvolvidas são pertencentes a países desenvolvidos (e.g., Alemanha, Suécia) (SCARLAT, 2018). Contudo, é no aspecto social que os principais problemas para difusão da tecnologia se encontram, principalmente pela necessidade de instituições capazes de conduzir o desenvolvimento do sistema. Estas instituições têm a função de supervisionar e viabilizar a produção de gás, elas incluem por exemplo incentivos econômicos e esquemas de padrões e normas que viabilizam modelos de negócio (NEGRO; HEKKERT, 2008).

A base do pensamento sistêmico por trás desta teoria é, portanto, ver totalidades: investigando sistemas inteiros dentro de um limite, entendendo seus componentes, funções e interconexões (SENGE, 2018). Estes sistemas são constituídos de estruturas, tais como laços de reforço e balanceamento, auto-organização e hierarquias. Um dos princípios mais importantes da teoria dos SI é conceituar um sistema como um conjunto de elementos interconectados de forma que eles produzem o próprio padrão de comportamento ao longo do tempo. Então, o sistema pode ser polido, restrito, acionado ou dirigido por forças externas, mas a resposta a essas forças é característica do próprio sistema. Ainda, essa resposta raramente é simples no mundo real, pois o sistema é mais que simplesmente a soma de suas partes (MEADOWS, 2008). Portanto, observa-se que as teorias são complementares, o sistemismo de Bunge e a teoria dos sistemas de inovação podem fundamentar resultados enriquecedores para o acúmulo de conhecimento do sistema de inovação de biogás do Brasil.

O desenvolvimento dos sistemas de inovação, segundo Markard (2018), que incorporou a teoria uma ideia de ciclo de vida, passam por quatro fases, nomeadamente: fase de formação, crescimento, maturação e decaimento. Cruzando esta nomenclatura com uma profunda revisão deste setor no Brasil pode-se dizer que o sistema está nas fases iniciais, sendo que não produz sequer 1% do seu potencial de biogás com pouco mais de 500 plantas em operação (OLIVEIRA & NEGRO, 2019). Uma fase formativa é caracterizada por baixas vendas (há predomínio do autoconsumo); pouco crescimento; pequeno número de atores; alto grau de integração vertical; baixas taxas de entrada/saída.

Nos últimos 10 anos houveram regulamentações importantes para o setor, como por exemplo, definições para comercialização de energia elétrica descentralizada de biogás, de biometano canalizado (i.e., biogás purificado a uma composição igual a do gás natural) e a inclusão do biometano como fonte de créditos de descarbonização pela Lei de Biocombustíveis (RenovaBio) (GRANGEIA et al., 2022). Tudo isso indica a emergência de uma nova fase, uma fase de crescimento. Em uma fase de crescimento as vendas são moderadas no início, mas devem crescer rapidamente; há um número grande de atores em funções diferentes; surgem associações (e.g., Associação Brasileira de Biogás e Biometano criada em 2013) e atores intermediários específicos; forte competição e lutas por padrões tecnológicos e regulamentações mais específicas (KANDA, 2019).

O objetivo social destes métodos associados a inovação sistêmica é proporcionar aos agentes de um sistema sociotécnico melhores informações para adequar seus mecanismos, relacionados à inovação e ao empreendedorismo para permitir ao sistema atingir um desempenho superior e mais socialmente desejado (e.g., difusão tecnológica promovendo a economia, do conhecimento e da sustentabilidade provenientes do biogás promovendo ganhos ambientais).

3. Procedimentos Metodológicos

O método adotado é a revisão de literatura. Como este estudo é hipotético dedutivo e introdutório optou-se por realizar uma busca não estruturada, que pudesse fundamentar a

aplicação do método CESM do Emergentismo. Foram incluídos materiais de teses e dissertações, assim como artigos e livros que tivessem alguma relação com os aspectos de inovação e filosofia, em outro momento foram buscados os mesmos itens para sistemas de inovação de biogás que fossem referentes ao caso do Brasil.

Este método hipotético dedutivo consiste na construção de conjecturas que devem ser submetidas a testes e críticas intersubjetiva (relação entre o sujeito e o objeto), ao controle mútuo pela discussão crítica, à publicidade (sujeitando o assunto a novas críticas) e ao confronto com os fatos, para verificar quais são as hipóteses que persistem como válidas resistindo as tentativas de falseamento, sem o que seriam refutadas. Trata-se de um método de tentativas e eliminação de erros, que não leva à certeza, pois o conhecimento absolutamente certo e demonstrável não é alcançado. Desta maneira, a resolução de um problema se renovaria em si mesmo, com tentativas progressivas em direção a soluções melhores para o problema (LAKATOS; ANDRADE, 1991).

O procedimento adotado é o modelo de sistema CESM (composição, ambiente, estrutura e mecanismo), do inglês (*composition, environment, structure and mechanism*), proposto por Bunge (2003), considera que qualquer sistema σ pode ser modelado, a qualquer instante, como uma quádrupla: $\mu(\sigma) = \langle C(\sigma), E(\sigma), S(\sigma), M(\sigma) \rangle$ onde:

- $C(\sigma)$ = composição, coleção de todas as partes de σ ;
- $E(\sigma)$ = ambiente, coleção de itens, com exceção daquelas em σ , que atuam sobre ou sofrem ação de algum ou de todos os componentes de σ ;
- $S(\sigma)$ = estrutura, coleção de relações, em particular vínculos, entre os componentes de σ ou entre estes e os itens em seu ambiente $E(\sigma)$;
- $M(\sigma)$ = mecanismo, coleção de processos em σ que o fazem comportar-se do jeito que se comporta.

Com exceção do universo, qualquer sistema tem um ambiente no qual interage e que a estrutura de um sistema pode ser dividida em duas partes: a) endoestrutura, ou coleção de vínculos entre os componentes do sistema; e b) exoestrutura, ou coleção de vínculos entre os componentes do sistema e os componentes do seu ambiente. A exoestrutura de um sistema inclui dois itens particularmente importantes: os de entrada (input) e os de saída (output). Enquanto o primeiro é o conjunto de ações dos componentes do ambiente sobre o sistema, o segundo é o conjunto de ações do sistema sobre o seu ambiente (BUNGE, 2003, p. 36).

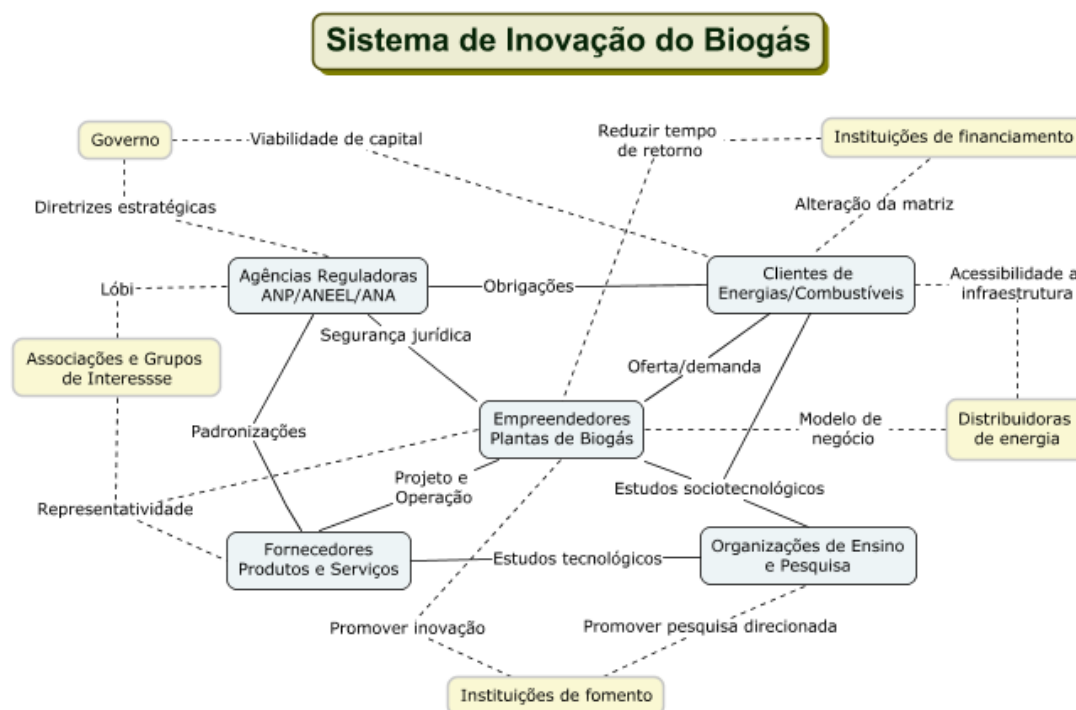
4. Resultados

4.1. Modelo CES para o SI do Biogás

O modelo proposto é um conjunto das principais conexões encontradas no sistema, não necessariamente todas estão evidenciadas, o objetivo é criar a percepção inicial para explicação dos mecanismos. A Figura 2 apresenta o modelo CES proposto para o Sistema de Inovação do Biogás do Brasil. A **composição** conta com cinco partes em destaque na parte central do modelo. É importante salientar os atores centrais do modelo, os *empreendedores*. É por meio de atividades de investimento e risco que empreendedores se engajam em produzir biogás, o ato conta com a crença por parte deles que o investimento em um sistema de aproveitamento de gás traga benefícios ou valor percebido para seu negócio. O valor percebido, pode existir na forma de redução de impacto ambiental, aproveitamento energético ou até mesmo produção de biofertilizante (BARRICHELO, 2015). Para esta composição, são destacadas quatro estruturas, as conexões: (i) *segurança jurídica*, (ii) *projeto e operação*, (iii) *oferta/demanda* e (iv) *estudos sociotécnicos*. A *segurança jurídica* traz à tona uma necessidade dos empreendedores em garantir que seus investimentos não venham a sofrer devido a novas e ou alterações em regulamentações, ou seja, que a Lei (e.g., novos decretos) não prejudicará o direito adquirido. Investimentos em *projeto e operação*, indicam que um

provedor deve apresentar um projeto viável economicamente que posteriormente atinja os resultados prometidos (ABIOGÁS, 2018). A composição de *Oferta/Demanda* destaca a necessidade de um mercado para a energia, requer uma mudança de pensamento por parte dos clientes para que deixem de consumir energias de fácil acesso e passem a demandar energias que favoreçam a sustentabilidade. Os *Estudos sociotécnicos* estão representando a importância de novas tecnologias e de fundamentar a evolução do sistema em conhecimento estruturado, garantindo que novos adotantes venham a conhecer as experiências de sucesso e insucesso referentes ao biogás (BLEY Jr., 2015).

Figura 1 – Modelo CES do Sistema de Inovação de Biogás do Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores

A partir dos empreendedores e das estruturas comentadas, temos os outros quatro componentes: (i) *Agências Reguladoras*, (ii) *clientes de energias/combustíveis*, (iii) *fornecedores de produtos e serviços* e (iv) *organizações de ensino e pesquisa*. Efetivamente estes componentes são os facilitadores, que precisam aprender em conjunto para garantir viabilidade aos projetos de biogás. Estes componentes possuem estruturas entre si, são elas: (i) *obrigações*, (ii) *padronizações*, (iii) *estudos tecnológicos* e novamente (iv) *estudos sociotécnicos*. Tais estruturas podem se entrelaçar, mas o modelo destaca apenas as influências de maior significância. Observa-se inicialmente as *obrigações*, conectando agências reguladoras (e.g, Agência Nacional do Petróleo, Agência Nacional de Energia Elétrica, Agência Nacional de Águas, entre outras) que remetem as “regras do jogo”, explicam o que, como, onde, quando e quanto os consumidores podem legalmente buscar pelo consumo de biogás, por exemplo por meio de energia descentralizada ou consumo de biometano (DESCLAUX, 2019). As *padronizações* por outro lado, se referem a como os fornecedores irão modelar projetos dentro das legislações para atender as expectativas dos empreendedores, por exemplo, respeitando regras de emissões, autoconsumo ou injeção de energia na rede. *Estudos tecnológicos*, compreendem a parte técnica do sistema, ou seja, de forma simples, melhores tecnologias proporcionam melhores resultados e viabilizam

diferentes projetos (e.g., liquefação de biometano para transportes de longa distância) (NUNES FERRAZ JÚNIOR et. al., 2022). Os *estudos sociotécnicos* também conectam as organizações de ensino aos clientes de energias, isto é, é imperativo saber dentro das dimensões destacadas como conduzir estes clientes ao maior consumo de energias renováveis, ou por vezes, salientar qual energia renovável é mais interessante para o consumidor (GRANGEIA et. al., 2021; KANDA et. al., 2021).

O **ambiente** também conta com cinco partes em destaque, cada um com pelo menos duas conexões a pelo menos duas partes da composição. O primeiro papel a ser analisado é do *(i) governo*, este compreende as ligações de diretrizes estratégicas, que são traduzidas em regulamentações pelas agências. Estas diretrizes podem ser oriundas de Leis, por exemplo, a lei de Biocombustíveis (RenovaBio) que começou a operacionalizar créditos de bioenergia em 2020 (DESCLAUX, 2019). Outro papel importante do governo se dá pela conexão de viabilidade de capital, isto é, empresas precisam se capitalizar para crescer, então os clientes de bioenergia devem agir junto do governo para garantir que continuem este processo.

O segundo item de ambiente são as *(ii) instituições de financiamento*, e aqui entram argumentos importantíssimos, pois elas agem diretamente na parte central e na parte dos clientes do modelo. Linhas de financiamento para projetos de biogás são uma novidade no país, há alguns anos bancos eram relutantes a fazer tais investimentos, pois não acreditavam na possibilidade de gerar energia de resíduos, e não existiam garantias que o fluxo de caixa de um projeto de biogás, realmente seria atingido (BARRICHELO, 2015). Atualmente existem algumas linhas para isso (e.g., Pronaf) contudo os possíveis investidores não as conhecem e as taxas não são muito atrativas. Do outro lado deste mesmo item, temos os clientes que requerem o mesmo tipo de serviço das instituições, para alterarem suas matrizes, por exemplo, deixarem de consumir combustíveis líquidos e passarem para um gasoso, ou ainda mudarem sua forma de adquirir energia (DURÃO, 2017).

O papel das *distribuidoras de energia e gás* também é muito importante no ambiente, isto se dá porque possuem o monopólio de seus setores. São estas instituições que podem conectar de forma mais eficiente os produtores e os consumidores (ABIOGÁS, 2018). Contudo, fontes descentralizadas são ao mesmo tempo uma oportunidade e uma ameaça, isso acontece porque a acessibilidade a infraestrutura, faz parte dos investimentos das distribuidoras e deve posteriormente ser repassado aos consumidores por meio de tarifas de serviço. Portanto, ao mesmo tempo em que conquistam um supridor de energia sustentável, farão com que seus consumidores tendam a optar por serviços alternativos. Agora a conexão com os produtores, na forma de *modelos de negócio* é um enorme impulso para os produtores, visto que a distribuição de biometano é uma forma de condicionar as tarifas a fontes sustentáveis de gás. Viabilizar um negócio de distribuição de biometano por redes de gás para substituição do Diesel em frotas pesadas, é a solução com maior eficiência energética dentre as alternativas para este gás (NUNES FERRAZ JÚNIOR et. al., 2022). O que ocorre em alguns estados é uma determinação de que as distribuidoras sejam obrigadas a adquirir parte dos seus volumes distribuídos em fontes renováveis, tal imposição é fundamental para o crescimento do setor. Alterando a situação de comodidade das instituições perante as energias fósseis e as altamente centralizadas (DESCLAUX, 2019).

As *instituições de fomento* por sua vez têm o papel de formular o crescimento do sistema de forma estruturada e com base em conhecimentos relevantes e estratégicos para diversos setores (DE OLIVEIRA, 2019). A primeira conexão deste item é a de *promover a inovação*, isto é fazer com que novos produtos e serviços cheguem aos produtores e consumidores. O processo de inovação é bilateral, ou seja, ela pode surgir do produtor e ser estruturada pelas instituições de pesquisa, ou sair do laboratório e seguir para os produtores. Neste ponto visualiza-se a conexão com *pesquisas direcionadas*, campo onde as instituições de destaque são a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, responsável por pesquisa e transferência de tecnologia, e a Empresa de Pesquisa Energética que recentemente incluí o

biogás em seus estudos de curto e médio prazo para a matriz do país, fornecendo diretrizes fundamentais para diversos agentes (KANDA et al., 2021).

As *associações e grupos de interesses* compõem o último item de ambiente e são responsáveis por organizar atividades de *lôbi e representatividade*. O principal exemplo aqui é a Associação Brasileira de Biogás e Biometano, que compreende grandes produtores de biogás, mas também inclui outros interessados como fornecedores de equipamentos e grandes empresas do setor de energia (ABIOGÁS, 2018). A representatividade tem resultados amplos no sistema de inovação, principalmente por formar coalizões capazes de influenciar decisões políticas e por transferir informações para novos entrantes. Associações para pequenos produtores também poderiam ter alta influência sobre o sistema, sendo uma barreira para o desenvolvimento de sistemas menores (DE OLIVEIRA, 2019).

4.2. As hipóteses de mecanismos para o SI do biogás

As hipóteses mecanísticas são apresentadas em três figuras, o modelo de Bunge destaca nos níveis superiores os efeitos no sistema (nível macro) e na linha inferior os efeitos para os indivíduos (nível micro). O primeiro mecanismo, ilustrado na Figura 3 refere-se as oportunidades de ofertar e utilizar o biogás como fonte de energia, o que interpretamos como o lado da oferta. A leitura do mecanismo começa com as janelas de oportunidades que surgem decorrentes de atividades agrícolas intensivas (e.g., produção de suínos, processamento de cana de açúcar, produção de leite e sucos) que produzem grandes quantidades de matérias orgânicas. Outras fontes de oportunidades são aterros sanitários e estações de tratamento de efluentes (OLIVEIRA, 2019).

Os empreendedores destes setores então naturalmente buscarão por soluções para seus resíduos, sendo uma delas a produção de biogás, tal ação implicará na necessidade de aprender sobre a solução que movimenta o sistema em termos de pesquisa e desenvolvimento, eis que com estes conhecimentos o empreendedor deverá decidir sobre investir ou não, neste momento sempre é priorizado o autoconsumo, visto que o mercado ainda é incipiente para comercializar esta fonte (DESCLAUX, 2019). Por isso, o último efeito destacado no nível macro se refere as regulamentações, de fato, regulamentações ocorrem por necessidade e não de forma preventiva, ou seja, primeiro há um conjunto de pressões por parte de produtores, para depois haver uma formação mais sólida de mercado. Este mecanismo também um dilema, ao mesmo tempo em que os produtores precisam das regulamentações para criar ofertar gás, as regulamentações só ocorrem após pressão da demanda (BLEY Jr., 2015).

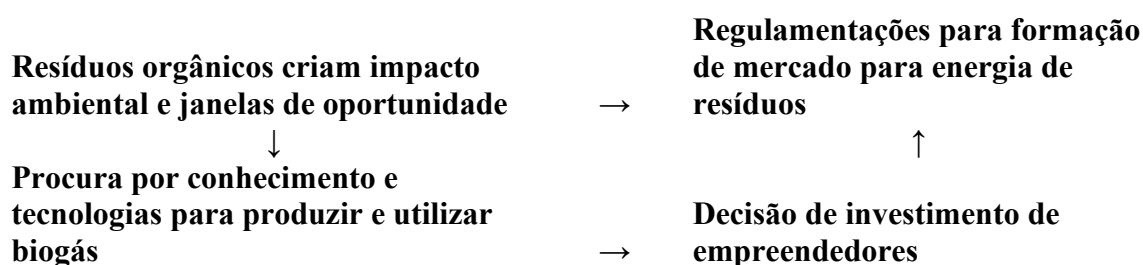


Figura 2 - Mecanismo de oportunidades para produtores de biogás pelo (lado da oferta)

O mecanismo da figura 4 refere-se a criação de oportunidades para os clientes de biogás, que agora interpretamos como lado da demanda. Esta hipótese faz referência em nível macro a procura por soluções mais ambientalmente corretas para fontes de energia, viabilizando negócios de longo prazo e mais sustentáveis. Esta mudança gradual no sistema, implica na entrada de produtores de energias renováveis, uma delas sendo o biogás, que implica na entrada de diversos outros agentes, como pesquisadores, empreendedores,

técnicos, projetistas e vários outros (DE OLIVEIRA, 2019). Estes novos entrantes, principalmente os clientes e os produtores, criam uma pressão por segurança jurídica, que se traduz em criação de redes e representatividade (ABIOGÁS, 2018).

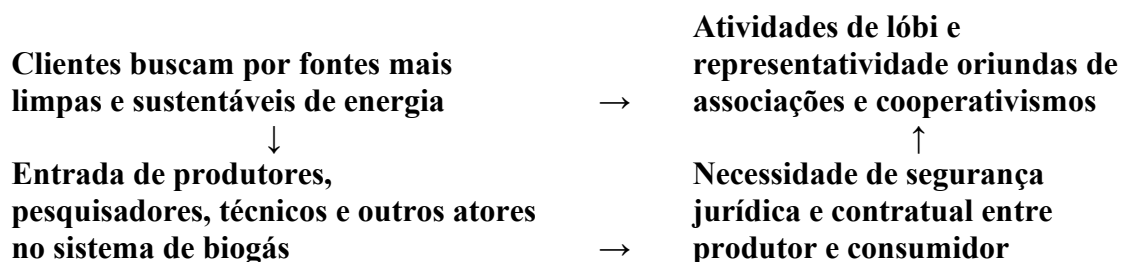


Figura 3 - Mecanismo de oportunidades para clientes de bioenergia (lado da demanda)

É notável a característica dinâmica dos sistemas complexos e sua fundação nos resultados não previsíveis do comportamento dos agentes individuais. Há muitas dificuldades em definir sistemas conceituais ou abstratos como este em estudo, pois são compostos de aspectos não palpáveis, como filosofias, políticas, diretrizes, programas, procedimentos, regras e regulamentos e entre outras características. Estes sistemas, então, são complexos e pouco previsíveis, não havendo uma exata ideia de suas entradas e saídas. Pode-se afirmar que a entrada e a saída do sistema de inovação do biogás foram focadas nos empreendedores, como destaca o modelo CESM.

5. Discussão

Esta discussão é pautada no sistema analisado e nas funções de um sistema de inovação, que foram usadas para embasar as hipóteses mecanísticas (HEKKERT, 2007). Para a evolução do sistema analisado, ainda há necessidades de adaptações no meio onde ele surgiu, ou seja, no ambiente e nas estruturas. Confirmando que sua interação é constitutiva, de modo que as características dos elementos são fundamentadas a partir de sua conformação com o meio.

Os resultados destacaram que analisar o sistema com esta ajuda funcional, permite uma explicação das interconexões entre os mecanismos. Por exemplo, as atividades de lóbi ocorrem por ambos os lados, seja do produtor e do cliente, o mesmo ocorre para as regulamentações, ambos destacados no modelo CES. As atividades empreendedoras aparecem tanto no momento que um produtor decide investir quanto no momento que um cliente decide adquirir energia oriunda do biogás; o desenvolvimento e absorção de conhecimento, assim como a orientação de pesquisa, surgem quando há a procura de soluções para problemas específicos, procura por fundamentar regulamentações, procura por quantificar impactos ambientais, entre outros. A difusão de conhecimento através de redes está mais oculta, mas quando diversos atores participam de um sistema há a formação de redes, as associações e outros órgãos de representatividade tomam certa responsabilidade por isso, elaborando feiras e eventos para compartilhar objetivos e conquistas. Que por sua vez, executam a função de legitimidade formal e informal, quando junto a novas políticas e regras, estabelecem mudanças favoráveis para o sistema (DE OLIVEIRA, 2019).

A formação de mercado é uma função exemplo destas mudanças favoráveis e é observada pela interação entre as duas hipóteses mecanísticas. Havendo garantias de estabilidade e baixo preço na oferta, e que a demanda seja suficiente para absorver os custos de investimento, o mercado é formado. Aqui existe um fato importante que desfavorece o biogás e necessita de suporte financeiro regulamentando, por exemplo, subsídios financeiros para geração energia. Basicamente, o biogás perde para as outras energias renováveis em

termos de valor por unidade de energia, ou seja, há necessidade de suporte para acelerar o crescimento do setor e criar mercados consistentes com a cadeia do biogás. A função mobilização de recursos nacionais e internacionais é outro fator importante, dificilmente observado nas hipóteses, mas geralmente ocorre por parte de clientes de energias ou instituições que buscam sustentabilidade em nível mais global. A mobilização de recursos também é um limitante para expansão da cadeia do gás (GARCÍA KERDAN, 2019). A entrada de recursos, sejam financeiros ou humanos podem promover o sistema de forma acelerada e as fontes internacionais foram e continuam sendo essenciais para o sistema no Brasil (e.g., cooperação com a Alemanha para transferência de tecnologia), visto que o governo federal ainda reluta em aprovar incentivos mais específicos para o setor (KANDA, 2019).

O modelo resultante destacou dois mecanismos sintetizados das funções de um sistema de inovação. É uma forma limitada de acessar os mecanismos, mas claramente a literatura cobre bem a parte detectável C-E-S. Pesquisas promissoras neste tema deveriam tornar o sistema de inovação mais evidente para os atores, assim tornando a nomenclatura e principalmente os objetivos, claros e significativos para os agentes. Em outras palavras, definir e buscar metas. Possivelmente cada função do sistema tem seu próprio mecanismo, em estudos futuros este pode ser uma forma de complementar o holismo da teoria dos sistemas de inovação.

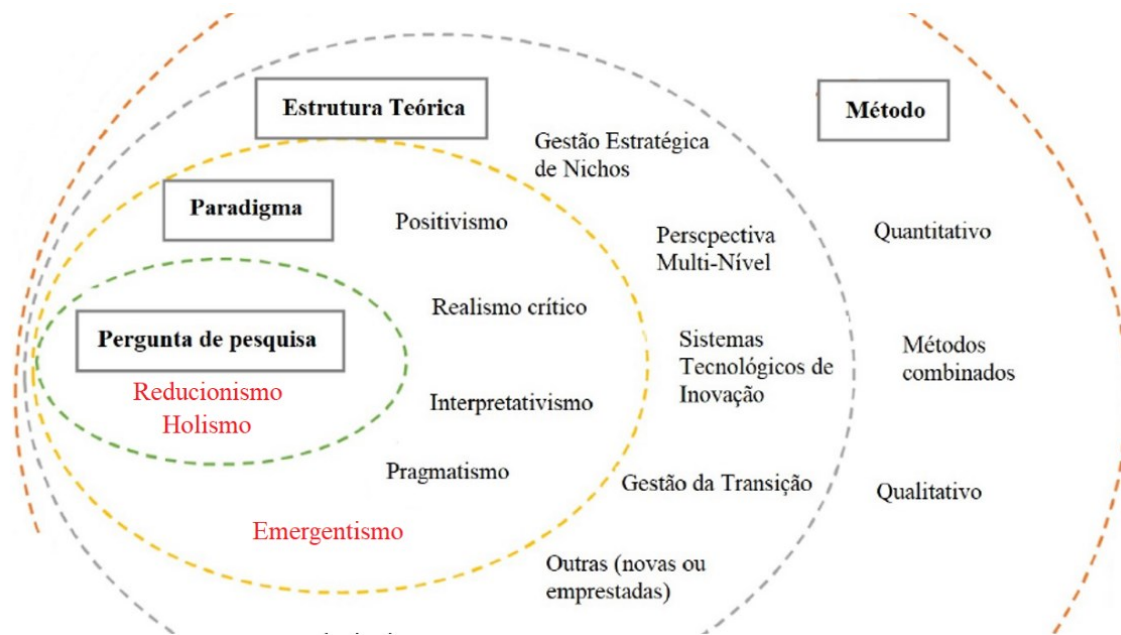
6. Conclusão

Enquanto as ontologias clássicas estabeleciam prioridades sobre variáveis universais e imutáveis a serem controladas, as ontologias mais recentes, como o Emergentismo, negam o isolamento e defendem o caráter dinâmico e evolutivo das variáveis a partir dos processos de interação que as envolvem. Esta característica torna o Emergentismo uma opção viável para ser combinada com o a teoria dos sistemas de inovação, particularmente para estudar energias renováveis que integram sistemas sociotécnicos. A viabilidade pode ser dita como parcial, visto que este estudo analisa uma parte superficial dos conceitos, requerendo um aprofundamento teórico e metodológico. Este tipo de estudo tem maior relevância teórica que prática. Para fazer desta temática mais prática, este tipo de estudo filosófico precisa ser replicado com outras energias, outros países e contextos para permitir maior associação entre o modelo de Emergentismo e as estruturas teóricas da teoria das transições sociotécnicas.

As visões holística e reducionista na verdade não puderam ser isoladas pelo caso observado. A teoria de sistemas de inovação então pode ter sua visão definida de acordo com o teor da análise, é como se as pesquisas iniciais fossem holísticas e depois com o sistema buscando por questões mais específicas, elas se tornem reducionistas. O caso do Brasil ilustrou que os mecanismos e estruturas oriundos do modelo CESM podem ser uma abordagem para mapear um sistema de inovação de uma maneira menos reducionista que as tradicionais (e.g., contando publicações, patentes, eventos).

Os conceitos do Emergentismo então podem ser sugeridos e introduzidos como dois novos blocos no diagrama de Pesquisa em Transições de sistemas sociotécnicos (ver Figura 2) junto da pergunta e do paradigma de pesquisa (ZOLFAGHARIAN, 2019). O bloco específico para o Emergentismo seria uma alternativa para a camada de paradigma. Enquanto a visão reducionista e holista estariam na base da formulação da pergunta de pesquisa. O modelo CESM por sua vez seria uma alternativa de método para a estrutura teórica dos sistemas de inovação, considerado dentro de Outras (novas ou emprestadas). O mapeamento CES é como uma visão emprestada da estrutura da Perspectiva Multi-Nível e os mecanismo são como hipóteses que permitem adaptar o paradigma para visões mais ou menos reducionistas. O método CESM então poderia ter sua estrutura baseada em mais um nível, o nível de nichos destacado na PMN.

Figura 2 – Diagrama Allium Cepa das Transições Sociotécnicas.



Fonte: Adaptado com base em (Zolfagharian, 2019)

O resultado prático por fim indicou que o biogás no Brasil não deve continuar sua maturação enquanto não houver incentivos para sua cadeia. Os incentivos precisam controlar os níveis micro e macro das hipóteses mecanísticas apresentadas. Para estes incentivos precisa-se considerar ainda toda a cadeia do gás natural, por exemplo conectando o consumo de gás natural com o de biogás. Por exemplo, em produtos inovadores que utilizassem uma mistura destes gases. Mas de uma forma holística, toda a cadeia do biogás, das técnicas (e.g., tecnologias de processamento, coleta, tratamento, bombas e dutos entre outros) as humanas institucionais (e.g., leis, regulamentações, cultura) precisam se desenvolver.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte a esta pesquisa.

Referências

ABIOGÁS. **Associação Brasileira de Biogás e Biometano: Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano - PNBB**. [S.l.], 2018.

BARICHELLO, Rodrigo. **Concepção de condomínios de agroenergia: análise e proposta de metodologia para aplicação em áreas de concentração da suinocultura**. 2015. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC.

BLEY JR., Cícero. **Biogás a energia invisível**. 2. ed. [S.l.]: São Paulo: CIBiogás. Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2015. ISBN 978-85-67785-04-2.

BUNGE, Mario A. **Emergence and convergence: qualitative novelty and the unity of knowledge**. Toronto: University of Toronto, 330 p. 2003.

BUNGE, Mario A. Mechanism and explanation. **Philosophy of the Social Sciences**, v. 27, n. 4, p. 410-465, 1997.

BUNGE, Mario. *El principio de la causalidad en la ciencia moderna*. Buenos Aires: Eudeba, 1969. **científico**. [S.l.]: São Paulo: Atlas, 1991.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DE OLIVEIRA, Luiz G. S.; NEGRO, Simona O. Contextual structures and interaction dynamics in the Brazilian Biogas Innovation System. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 462–481, 2019.

DESCLAUX, Laurene. **Desafios para o desenvolvimento do biogás no Brasil: A importância da coordenação na formulação de políticas públicas e na regulação**. 2019. F. 97. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

DURÃO, Juliana Velloso. **Transição para o uso do biogás no Brasil: análise baseada na perspectiva multinível**. 2017. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento - PPED da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro.

GARCÍA Kerdan, Iván et al. Modelling cost-effective pathways for natural gas infrastructure: A southern Brazil case study. **Applied Energy**, v. 255, p. 113799, 2019. ISSN 0306-2619.

GRANGEIA, Carolina; SANTOS, Luan; LAZARO, Lira Luz Benites. The Brazilian biofuel policy (RenovaBio) and its uncertainties: An assessment of technical, socioeconomic and institutional aspects. **Energy Conversion and Management: X**, v. 13, p. 100156, 2022. ISSN 2590-1745.

HAYEK, F. A. The theory of complex phenomena. **The critical approach to science and philosophy**. P. 332-349. 1964.

HEKKERT, M. P. et al. Functions of innovation systems: A new approach for analyzing technological change. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 74, n. 4, p. 413–432, 2007.

KANDA, Wisdom et al. Policy coherence in a fragmented context: the case of biogas in Brazil. **Energy Research and Social Science**, v. 87, p. 102454, 2022. ISSN 2214-6296.

KERN, V. M.; SILVA, L. M.; GARCIA, P. B., et al. A redução ao sistema como operação epistêmica na pesquisa descritiva e explicativa em Ciência da Informação. Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação (ENANCIB), XVII, 2016, Salvador-BA. **Anais... UFBA**, 2016. p. 301-321.

KERN, Vinícius. M. O sistemismo de Bunge: fundamentos, abordagem metodológica e aplicação a sistemas de informação. Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação (ENANCIB) XI, 2011, Brasília. **Anais...** Brasília: Thesaurus, 2011. p. 2693-2709.

LAKATOS, Eva Maria; ANDRADE, Marina de M. **Metodologia do trabalho** Learning, 2008.

LUNDVALL, Bengt-Åke. **National Systems of Innovation: towards a Theory of Innovation and Interactive Learning**. London: Printer Publishers, 1992.

MARKARD, J.; RAVEN, R.; TRUFFER, B. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. **Research Policy**, v. 41, n. 6, p. 955–967, 2012.

MARKARD, Jochen. The life cycle of technological innovation systems. **Technological Forecasting and Social Change**, 2018.

MEADOWS, Donella. **Thinking in Systems: a primer**. [S.l.]: Vermont: Chelsea Green Publishing, 2008.

MEDINA, J. Linguagem: conceitos chave em filosofia. Tradução: Fernando José R. da Rocha. Porto Alegre. Artmed, 2007.

NEGRO, Simona O.; HEKKERT, Marko P. Explaining the success of emerging technologies by innovation system functioning: the case of biomass digestion in Germany. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 20, n. 4, p. 465–482, 2008.

NEVZOROVA, Tatiana; KUTCHEROV, V. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. **Energy Strategy Reviews**, v. 26, 2019.

NUNES FERRAZ JÚNIOR, Antonio Djalma et al. Liquefied biomethane from sugarcane vinasse and municipal solid waste: Sustainable fuel for a green-gas heavy duty road freight transport corridor in Sao Paulo state. **Journal of Cleaner Production**, v. 335, p. 130281, 2022. ISSN 0959-6526.

PESQUEUX, Yvon. Filosofia e organizações; Tradução: Marcela Vieira. São Paulo: Cengage 2008

PRADO, E. F. S. Microeconomia reducionista e microeconomia sistêmica. **Nova Economia**. V.16, n. 2, p. 303-322, 2006.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J.; FAHL, F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. **Renewable Energy**, v. 129, p. 457–472, 2018.

SENGE, Peter M. **A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende**. 29. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro: Best Sellers, 2018.

SILVA, João S. S. **Fundamentos metodológicos da complexidade econômica e o pensamento contemporâneo de Adam Smith**. Dissertação (Mestrado). 2018. Programa de pós graduação em Economia e Desenvolvimento da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

SILVA, L. M.; VIANNA, W. B.; KERN, V. M. O sistemismo de Bunge como base teórico-metodológica para pesquisa em Ciência da Informação. *Em Questão*, 22(2), 2016. p140-164.

URIONA-MALDONADO, Mauricio; GROBBELAAR, Sara. Innovation system policy analysis through system dynamics modelling: A systematic review. **Science and Public Policy**, v. 46, n. 1, p. 28–44, 2019.

VON BERTALLANFY, Ludwig. **General system theory: Foundations, Development, Applications**. George Braziller. New York. 1968.

ZOLFAGHARIAN, Mohammadreza et al. Studying transitions: Past, present, and future. **Research Policy**, v. 48, n. 9, p. 103788, 2019. ISSN 0048-7333.