

**COMPETITIVIDADE DO BRASIL NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA GLOBAL COM
A IMPLANTAÇÃO DO HUB DE HIDROGÊNIO VERDE DO CEARÁ: UM ESTUDO
À LUZ DA TEORIA DA HÉLICE QUÍNTUPLA**

*COMPETITIVENESS OF BRAZIL IN THE GLOBAL ENERGY TRANSITION WITH THE
IMPLEMENTATION OF CEARÁ'S GREEN HYDROGEN HUB: A STUDY IN LIGHT OF
THE QUINTUPLE HELIX THEORY*

JANAINA DOS SANTOS BENVINDO

FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E CONTABILIDADE DA UFC

MÁRCIA ZABDIELE MOREIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Comunicação:

O XII SINGEP foi realizado em conjunto com a 12th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com o Casablanca Climate Leadership Forum (CCLF 2024), em formato híbrido, com sede presencial na ESCA Ecole de Management, no Marrocos.

Agradecimento à órgão de fomento:

Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP pelo apoio dado, propiciando esta pesquisa.

COMPETITIVIDADE DO BRASIL NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA GLOBAL COM A IMPLANTAÇÃO DO HUB DE HIDROGÊNIO VERDE DO CEARÁ: UM ESTUDO À LUZ DA TEORIA DA HÉLICE QUÍNTUPLA

Objetivo do estudo

O presente estudo objetiva investigar como a implantação do Hub de H2V do Ceará pode potencializar a competitividade do Brasil na transição energética global, sob a perspectiva do Modelo de Hélice Quíntupla.

Relevância/originalidade

A relevância e originalidade residem na elaboração de um Framework teórico sobre mudanças climáticas, Teoria da Hélice Quíntupla, Hidrogênio verde e competitividade internacional e transição energética.

Metodologia/abordagem

A pesquisa em questão adota uma abordagem qualitativa, exploratória e tem como método o estudo de caso. Os dados foram coletados por meio de entrevistas semiestruturadas e para a análise dos dados foi utilizada a Análise Textual Discursiva (ATD) com o software.

Principais resultados

Foi constatado que o Hub pode não trazer o nível de competitividade esperado para o país. A abundância de recursos naturais no Brasil não garante automaticamente uma posição de destaque devido à sua forte dependência tecnológica.

Contribuições teóricas/metodológicas

Este estudo traz contribuições acadêmicas ao identificar lacunas na literatura relacionadas ao Modelo de Hélices (triplo, quádruplo e quántuplo). Especificamente o aprimoramento da Teoria das Hélices Quádrupla e Quíntupla.

Contribuições sociais/para a gestão

Este estudo sugere que o atual modelo de colaboração entre academia, empresas e governo no Ceará representa uma mistura entre o estatista e o laissez-faire, com uma forte atuação por parte do governo na promoção da interação e colaboração entre os atores-chave.

Palavras-chave: Transição energética, Hidrogênio verde, Competitividade internacional, Inovação, Hélice Quíntupla

COMPETITIVENESS OF BRAZIL IN THE GLOBAL ENERGY TRANSITION WITH THE IMPLEMENTATION OF CEARÁ'S GREEN HYDROGEN HUB: A STUDY IN LIGHT OF THE QUINTUPLE HELIX THEORY

Study purpose

The present study aims to investigate how the implementation of the H2V Hub in Ceará can enhance Brazil's competitiveness in the global energy transition, from the perspective of the Quintuple Helix Model.

Relevance / originality

The relevance and originality lie in the elaboration of a theoretical Framework on climate change, Quintuple Helix Theory, Green Hydrogen and international competitiveness and energy transition.

Methodology / approach

The research in question adopts a qualitative, exploratory approach and has a case study method. Data was collected through semi-structured interviews and Discursive Textual Analysis (DTA) was used with the software to analyze the data.

Main results

It was found that the Hub may not bring the expected level of competitiveness to the country. The abundance of natural resources in Brazil does not automatically guarantee a prominent position due to its strong technological dependence.

Theoretical / methodological contributions

This study makes academic contributions by identifying gaps in the literature related to the Helix Model (triple, quadruple and quintuple). Specifically the improvement of the Quadruple and Quintuple Helix Theory.

Social / management contributions

This study suggests that the current model of collaboration between academia, business and government in Ceará represents a mix between statist and laissez-faire, with a strong role on the part of the government in promoting interaction and collaboration between key actors.

Keywords: Energy transition, Green hydrogen, International competitiveness, Innovation, Quintuple Helix

TÍTULO COMPETITIVIDADE DO BRASIL NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA GLOBAL COM A IMPLANTAÇÃO DO HUB DE HIDROGÊNIO VERDE DO CEARÁ: UM ESTUDO À LUZ DA TEORIA DA HÉLICE QUÍNTUPLA

1 Introdução

Na tentativa de mitigar os impactos do aquecimento global, os esforços globais convergem para atingir as metas do Acordo de Paris, visando um futuro sustentável com a redução das emissões de gases de efeito estufa. É imperativa a transição para uma economia global descarbonizada, onde se destaca a importância da Agenda 2030 da ONU e do Quadro de Referência para a Redução de Riscos de Desastres. Ambos são fundamentais para orientar o desenvolvimento sustentável rumo a uma economia de baixo carbono (Ueckerdt et al., 2021; ONUBR, 2021; Fernandes et al., 2023; Paz, 2017; Chomsky et al., 2020).

Em busca de vetores energéticos de baixo impacto ambiental, o setor energético global prioriza fontes sustentáveis, como energia eólica, solar, biomassa, hidrelétrica e geotérmica (Farias et al., 2021). O hidrogênio verde emerge como uma opção promissora (Parra et al., 2019; Midilli, 2016), sendo menos poluente que combustíveis tradicionais como petróleo, gás natural e hidrogênio de origem fóssil, além de ser energeticamente eficiente (Sadik-Zada, 2021).

O Brasil está bem posicionado para liderar na produção de H₂V, com seu potencial em energias renováveis e sistema elétrico de baixa emissão (Castro et al., 2021; Gurlit et al., 2021). A implementação de um hub de hidrogênio verde no Ceará, no Complexo do Pecém, promove a competitividade nacional e consolida o país como líder na transição para uma economia de baixo carbono. O estado cearense oferece incentivos fiscais para atrair indústrias, aproveitando seu vasto potencial em energia eólica e solar. A proximidade do Porto do Pecém com rotas de navegação que conectam o Brasil à Europa é um fator relevante.

Contudo, a transição de fontes energéticas tradicionais para renováveis na matriz energética não resolve, isoladamente, os desafios relacionados ao desenvolvimento sustentável dos países. A produção e o fornecimento de energia envolvem uma intensa exploração de recursos naturais, acarretando impactos sociais e ambientais significativos.

Portanto, o debate sobre energia não pode ser dissociado de questões que abordam a sociedade, o meio ambiente, a equidade, a sustentabilidade e o desenvolvimento (Farias et al., 2021).

A Teoria da Hélice Quíntupla é um modelo abrangente que propõe uma abordagem integrada para lidar com a crise climática decorrente do aquecimento global. Baseada na interconexão de cinco domínios principais - ecologia, conhecimento, inovação, economia e sociedade - além da dimensão democrática, essa teoria busca promover o desenvolvimento sustentável em diversas esferas da sociedade (Carayannis et al., 2012). Surge, então, a seguinte questão de pesquisa: Como a implantação do Hub de Hidrogênio Verde do Ceará pode impulsionar a competitividade do Brasil, sob a perspectiva do modelo da Hélice Quíntupla? Dessa forma, o presente estudo objetiva investigar como a implantação do Hub de H₂V do Ceará pode potencializar a competitividade do Brasil na transição energética global, sob a perspectiva do Modelo de Hélice Quíntupla.

Esta pesquisa está organizada da seguinte maneira: além desta introdução, o próximo passo é apresentar o embasamento teórico. Em seguida, serão descritos os procedimentos metodológicos adotados, incluindo a descrição da pesquisa, a coleta de dados e as técnicas de análise. Posteriormente, os resultados serão apresentados e discutidos à luz da teoria e de estudos anteriores sobre o tema. Por fim, serão feitas considerações finais, abordando as limitações do estudo e sugerindo pesquisas futuras.

2 Referencial Teórico

2.1 A emergência climática e o papel do h2v na transição energética

As origens dos estudos das mudanças do clima datam de 1824, a partir das pesquisas de Joseph Fourier e seu cálculo da temperatura do planeta. O estudo dele concluiu que a terra teria uma temperatura muito mais fria se não tivesse a atmosfera. Algumas décadas depois, Arrhenius fez um estudo em que calculava o aquecimento global no ano de 1896 e sugeriu a hipótese de que uma redução no volume de CO₂ no planeta conseguiria gerar mudanças relevantes no clima terrestre (Pileggi & Lamia, 2020).

Em 2020, a temperatura média global foi 1,3°C superior ao período pré-industrial (1880-1920). Os últimos seis anos foram os mais quentes registrados pela NASA, com os dez anos mais quentes do século XXI. Em 2021, a temperatura média global foi +1,12°C em relação ao período de referência. Tanto 2021 quanto 2018 estão empatados como o sexto ano mais quente registrado, com os oito anos mais quentes ocorrendo nos últimos oito anos. A taxa de aquecimento sobre a terra é aproximadamente 2,5 vezes mais rápida do que sobre os oceanos (Hansen et al., 2021, 2022).

As mudanças climáticas exercem impactos significativos no meio ambiente, afetando diretamente a vida das pessoas e sua qualidade de vida. Essas crises ambientais estão cada vez mais presentes e podem prejudicar a saúde humana de forma direta ou indireta, representando um alto risco de danos irreversíveis (Galvão et al., 2011; (Marengo et al., 2015).

A descrição do novo paradigma econômico, conhecido como “economia do hidrogênio”, destaca o hidrogênio como um vetor energético fundamental no processo de mudança energético. Essa abordagem representa uma mudança significativa em relação a uma economia anteriormente centrada predominantemente em recursos não-renováveis, como o petróleo e seus derivados (CGEE, 2010).

As origens do conceito de hidrogênio verde ou renovável remetem aos estudos do National Renewable Energy Laboratory (NREL). Os termos “hidrogênio renovável”, em que sua produção é feita com fontes energéticas renováveis e “hidrogênio verde” como sinônimos (Gielen, 2019). Decorrente dessa necessidade de reduzir os efeitos negativos das mudanças climáticas e viabilizar a transição energética, aumentando a participação das energias limpas no setor energético, a procura por tecnologias despoluídas aumentou substancialmente nos últimos anos. Assim, diante de tantos desafios, o hidrogênio verde surge como uma das principais alternativas (IEA, 2022; Fonseca, 2022; Sadik-Zada, 2021).

2.2 A Teoria da Hélice Quintupla no contexto do desenvolvimento sustentável

A teoria da hélice tríplice pode ser definida como um modelo de inovação em que a academia, as empresas e o governo se relacionam por meio de parcerias com intuito de, por meio da inovação e do empreendedorismo, gerar progresso (Etzkowitz & Zhou, 2017). Essa teoria, de acordo com Etzkowitz e Leydesdorff (2000), pode ser entendida por meio de três modelos, quais sejam: (1) modelo estatista, (2) modelo laissez-faire e (3) modelo balanceado.

No modelo estatista, o governo exerce controle sobre os atores, fornecendo recursos e limitando o desenvolvimento da inovação (D’avila et al., 2017; Etzkowitz, 2013; Ranga; Etzkowitz, 2013; Razak & White, 2015). Por sua vez, no modelo laissez-faire, cada agente atua de forma isolada, com intervenção limitada do governo, permitindo que as empresas se concentrem em suas vantagens, mas correndo o risco de não se adaptarem às mudanças externas (Etzkowitz, 2013; Razak & White, 2015). Etzkowitz e Zhou (2017) sugerem um modelo balanceado, onde os agentes interagem de forma equilibrada, alternando entre independência e interdependência em relação ao governo, possibilitando a emergência de configurações inovadoras.

Desde a introdução da teoria da Hélice Tríplice por Etzkowitz e Leydesdorff (1995), o modelo tem sido questionado por estudiosos que apontam outros atores importantes para explicar o processo de inovação (Mineiro et al., 2018). Autores como Nordberg (2015), Galvão et al. (2017) e Yoon et al. (2017) argumentam que a hélice tríplice é insuficiente para abranger o contexto atual da inovação, citando críticas relacionadas à sua vulnerabilidade no processo de cooperação entre os agentes (Saad & Zawdie, 2005). Adicionalmente, Cai (2015) destaca fragilidades na teoria dependendo do contexto de aplicação.

Assim sendo, surgem novas configurações para o modelo de hélices. Nesse contexto, são adicionados os conceitos relacionados à mídia e cultura e a sociedade civil, compondo a quarta hélice. A qual está relacionada à mídia, organizações e classes criativas, estilos de vida, culturas e valores. Nessa perspectiva, a sociedade tanto é formada e informada pelo sistema midiático como influenciada e direcionada pela cultura e valores (Carayannis & Campbell, 2009; Baccarne et al., 2016).

Com a crescente preocupação por uma abordagem de desenvolvimento sensível à preservação ambiental, o modelo de hélice evolui para hélice quádrupla, incorporando o meio ambiente (Carayannis & Campbell, 2011; Carayannis et al., 2017). Assim, é essencial integrar os recursos naturais em uma nova mentalidade de proteção ambiental, considerando essa dimensão nas escolhas dos agentes (DeLa Veja & Barcellos, 2020).

Segundo Carayannis et al., (2012), os atores ou hélices formam cinco subsistemas. O sistema educativo, como primeiro subsistema, é a base para a formação do capital humano necessário para o progresso de um estado, ocorrendo principalmente nas instituições de ensino superior. Ele compreende a disseminação e pesquisa do conhecimento, envolvendo estudantes, professores, cientistas e empresários acadêmicos. Em seguida, o sistema econômico, como segundo subsistema, direciona o capital econômico do estado, envolvendo indústrias, empresas e serviços para impulsionar o crescimento e a prosperidade.

Ainda, o sistema político, como terceiro subsistema, define e organiza as condições gerais do estado, moldando a governança através de um capital político e jurídico composto por ideias, leis e políticas. Por outro lado, o público baseado na cultura e nos meios de comunicação, como quarto subsistema, combina capital social, representado por tradições e valores compartilhados, e capital da informação, fornecido por meios como televisão e internet. Por fim, o ambiente natural, como quinto subsistema, fornece capital natural, incluindo recursos e biodiversidade, sendo essencial para o desenvolvimento sustentável e o bem-estar das futuras gerações.

Após a exposição do referencial teórico introduz-se o modelo conceitual deste estudo, organizado da seguinte forma:

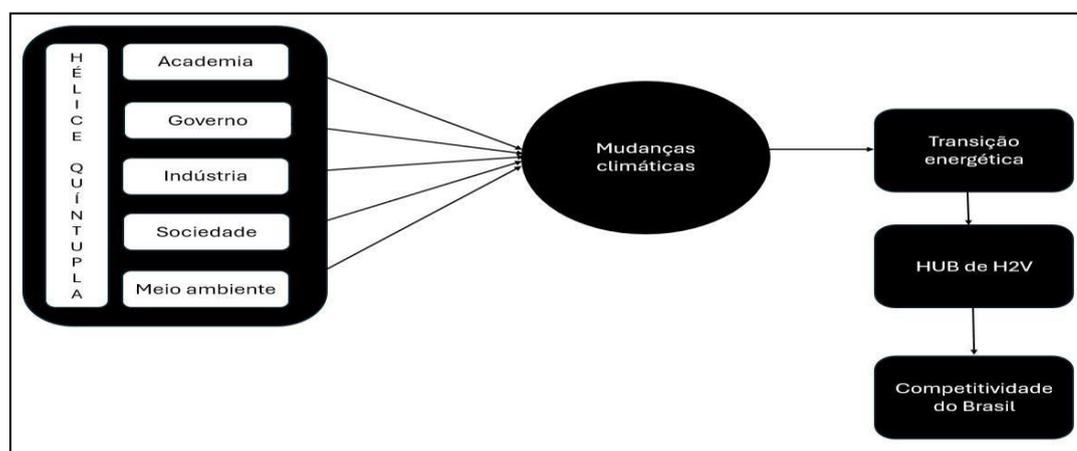


Figura 1 - Modelo teórico do estudo

Dessa forma, as mudanças climáticas representam um desafio para o desenvolvimento sustentável. A Teoria da Hélice Quíntupla propõe uma abordagem integrada para enfrentar essa crise, unindo ecologia, conhecimento, inovação, economia, sociedade e democracia. Diante disso, a transição para fontes de energia mais sustentáveis é crucial, visando substituir recursos fósseis por energias renováveis. O hidrogênio verde (H2V) surge como uma alternativa promissora nesse contexto e regiões com recursos abundantes de energias renováveis, como o Brasil, despontam como protagonistas. A implementação de um hub de H2V no Ceará é uma iniciativa estratégica para fortalecer a competitividade do país e fortalecer sua posição como potencial líder na transição energética global.

3 Metodologia

A pesquisa em questão adota uma abordagem qualitativa, conforme preconizado por Guerra (2014), visando o aprofundamento dos fenômenos investigados, como atividades de pessoas, grupos ou organizações em seu contexto social. Além disso, é uma pesquisa exploratória, que busca compreender o papel dos atores em um modelo de hélice quíntupla na implantação de um hub de inovação, bem como apresenta características descritivas ao procurar descrever como o hub de inovação pode impactar na competitividade do Brasil na transição energética global, identificando associações entre a inovação e a competitividade internacional. O método de pesquisa é o estudo de caso. O qual, de acordo com Yin (2014) se trata de uma pesquisa detalhada de objetos ou fenômenos que permitam o aprofundamento por completo do conhecimento obtido.

No que tange aos atores que foram entrevistados para a pesquisa, foram escolhidos o indivíduo que seria “representante” de cada hélice do modelo de hélice quíntupla. Dessa forma, foram selecionados os seguintes participantes para a pesquisa conforme Quadro 1.

Hélice	Cód.	Perfil
Governo	E1	Possui doutorado em Economia pela Universidade Wageningen e atualmente ocupa um cargo de gestão no CIPP.
Academia	E2	Possui doutorado pela Universidade do Porto e atualmente é professora e gestora na UFC.
Indústria	E3	Lidera projetos na Transhydrogen Alliance Brazil para produção de H2V no CIPP visando exportação para a Europa
	E4	Engenheiro Mecânico e Eletricista na FIEC e membro da ACE com mais de 50 anos na energia, focando em renováveis.
Sociedade	E5	Líder do povo Anacé em Caucaia e São Gonçalo do Amarante
Meio ambiente	E6	Graduado em Saneamento Ambiental e mestre em Climatologia, é servidor e gestor da Semace

Quadro 1 - Participantes da pesquisa

Os dados foram coletados por meio de entrevistas semiestruturadas, seguindo o modelo de Minayo (2008), realizadas entre dezembro de 2023 e janeiro de 2024. Cada entrevista teve, em média, 8 perguntas e durou cerca de 55 minutos, totalizando 6 horas e 4 minutos de gravação. Após a transcrição, o conteúdo ocupou 52 páginas, usadas para análise no IRaMuTeQ. Foi utilizada a Análise Textual Discursiva (ATD) com o software IRaMuTeQ, permitindo uma abordagem qualitativa dos discursos e novas interpretações (Moraes et al., 2013). As entrevistas foram gravadas via PowerPoint e depois convertidas para MP3 para transcrição, sendo necessárias revisões manuais para garantir precisão, identificando trechos não reconhecidos pelo software.

4 Análise e discussão dos resultados

A análise inicial realizada consistiu na análise estatística pelo IRaMuTeQ pelo diagrama de Zipf. Os resultados da análise estatística mostram que o corpus tem 6 textos (entrevistas), com 954 segmentos. Foram identificadas 33.281 ocorrências de palavras, abrangendo 3.952 formas distintas, com 1.972 sendo Hápax, aparecendo uma vez no corpus. No diagrama de Zipf, seis palavras têm frequência igual ou superior a 500 no eixo y, enquanto no eixo x, há muitas palavras com frequência 1. Essa distribuição destaca termos recorrentes e uma variedade de palavras menos frequentes, oferecendo uma visão abrangente da estrutura linguística do corpus.

A Classificação Hierárquica Descendente (CHD) divide os textos em subconjuntos usando a frequência e coocorrência de palavras como critério, facilitando a identificação de padrões e temas comuns. O *software* gera um dendrograma, representando as interações entre as classes. No corpus analisado, cinco categorias foram formadas (Figura 2).

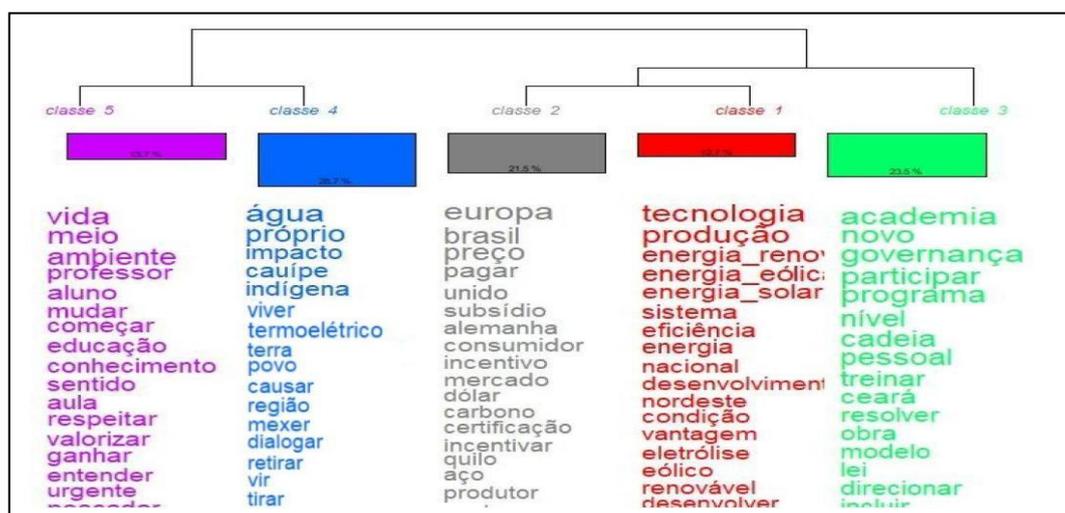


Figura 2 - Output IRaMuTeQ com Dendrograma 2 do corpus

As classes lexicais foram nomeadas com base nas características e nos padrões semânticos observados em cada conjunto de palavras, objetivando encaixá-las nos 5 subsistemas propostos por Carayannis et al., (2012), conforme Figura 3:

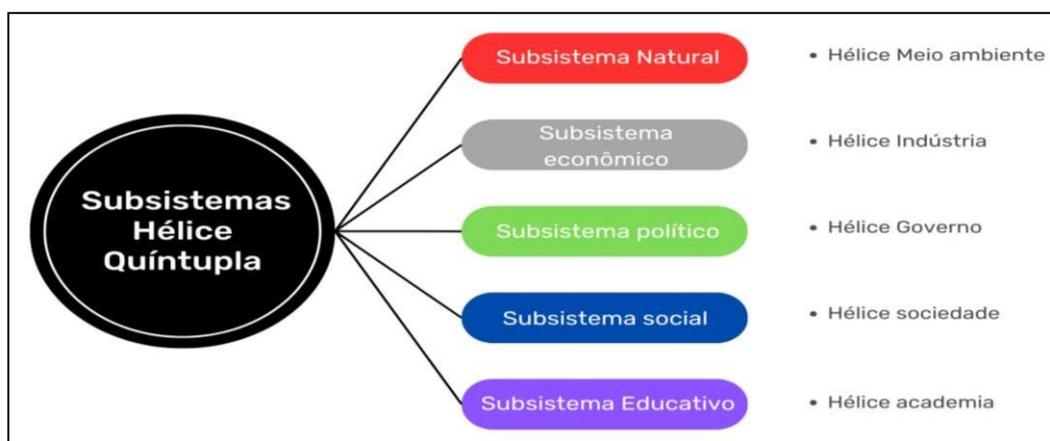


Figura 3 - Subsistemas da Hélice Quintupla

- **Subsistema natural**

A Classe 1 (vermelha) concentra-se em energia renovável e tecnologia sustentável, destacando o desenvolvimento, produção e implementação de fontes limpas, como energia eólica e solar. Também aborda aspectos técnicos e inovadores, como sistemas de eletrólise e eficiência energética, refletindo preocupações com avanço e competitividade no campo das energias renováveis.

O E5 enfatiza a necessidade de discutir sobre energia limpa, considerando seus possíveis impactos nos territórios, não apenas indígenas, mas em toda a terra. E5: *“A gente tem que falar sobre energia limpa, mas observando que essa energia ela possa ou não impactar sobre os territórios, né? Ou sobre, não digo só os territórios indígenas, mas sobre toda a terra, sobre toda a mãe terra e tudo que vem e faz parte dela”*.

O E2 destaca a importância de reter parte da produção de hidrogênio verde na região, a fim de garantir que a comunidade também se beneficie da produção de produtos verdes:

É uma indústria que vai se pagar se o custo dessa energia for muito, muito, muito baixo. Pra o custo dessa energia ser muito, muito, muito baixo, provavelmente eu vou ter mão de obra não tão qualificada, que não ganha tanto pra instalar os painéis solares, as pás eólicas. Corre esse risco. Se ele é eminentemente pra exportação e depende muito da energia de base. As especiarias da Índia, o Pau Brasil, quem trabalhava com a extração dessas coisas, ganhava muito pouco. A riqueza ficava muito pouca aqui.

Em seguida ele destaca a diferença de percepção entre os povos indígenas e os não indígenas quanto ao respeito e cuidado com o meio ambiente, destacando a presença histórica da energia limpa nas práticas agrícolas e na relação harmoniosa com a natureza.

- **Subsistema Econômico**

A Classe 2, representada pela cor cinza, aborda questões econômicas, tanto em níveis nacional quanto internacional. Os termos presentes sugerem interesse em política econômica, relações comerciais e regulamentação, com foco em geopolítica e comércio global. Palavras como “Europa”, “Brasil”, “mercado”, “internacional” e “país” indicam preocupações geopolíticas e comerciais. Termos como “preço”, “consumidor”, “produto” e “mercado” apontam para considerações econômicas e competitividade.

Importa destacar que a colaboração entre governo, academia e indústria, evidenciada pelos discursos dos entrevistados E1 (governo), E2 (academia) e E4 (indústria), é importante para impulsionar iniciativas regionais, como o *hub* de hidrogênio verde do Ceará. Essa colaboração permite a condução de projetos de pesquisa e desenvolvimento que beneficiam tanto o setor acadêmico quanto o industrial, resultando em avanços no contexto regional. Este cenário está alinhado com pesquisas que destacam a importância das competências científicas (Audretsch et al., 2012; Guerrero et al., 2015; Moaniba et al., 2018) e defendem um aumento nos investimentos em pesquisa e desenvolvimento para fortalecer a capacidade dos países de promover o crescimento econômico sustentável e aumentar a competitividade internacional, conforme também Garlet et al., (2024) Bezerra, (2021); César et al., (2019).

Esse formato de colaboração faz referência, portanto, à Hélice Tríplice formada pelo governo, academia e indústria conforme é possível verificar no segmento de texto apontado, E1: *“Eu acho que o papel do governo, ele é fundamental porque ele constituiu um modelo de governança que inclui não só o governo, mas o setor privado e a academia”*.

- **Subsistema Político**

A Classe 3 (cor verde), é caracterizada pela presença de termos que remetem a instituições políticas e industriais, assim como a discussões sobre governança. Esses termos incluem palavras como “governança”, “programa”, “universidade” e “pesquisador”, sugerindo

um foco em iniciativas, políticas e projetos relacionados ao desenvolvimento regional, por meio de investimento em educação superior.

Na análise, percebe-se a atuação de uma Hélice Tríplice, com papéis bem definidos, conforme apontam os autores Etzkowitz e Leydesdorff (1995, 2000) e Leydesdorff e Etzkowitz (1998). Na Hélice Tríplice, cada componente desempenha papéis distintos na promoção da inovação e do desenvolvimento regional. A academia gera conhecimento por meio de pesquisas, a indústria transforma esse conhecimento em produtos e serviços inovadores, enquanto o governo fomenta a inovação por meio de políticas públicas e investimentos. No entanto, o desenvolvimento de uma hélice quádrupla mostra-se incipiente devido à pouca participação da sociedade.

- **Subsistema social**

A Classe 4 (cor azul), evidencia uma concentração de termos relacionados a questões sociais, culturais e os impactos ambientais. Palavras como “água”, “impacto”, “indígena”, “terra” e “território” sugerem uma preocupação com os impactos no meio ambiente e conseqüentemente nas comunidades locais. Além disso, termos como “povo” e “corpo” indicam uma reflexão sobre questões sociais e identitárias.

A classe 4 (azul) está distante da classe 3 (verde), indicando um envolvimento limitado da sociedade em iniciativas de desenvolvimento regional, como o hub de hidrogênio. Isso é evidenciado nos trechos em que a sociedade é mencionada de forma tangencial, sendo vista mais como uma formalidade do que como um participante ativo nos projetos, sugerindo uma visão restrita do papel da sociedade no desenvolvimento desses projetos:

Aí você tem toda essa parte de meio ambiente, sustentabilidade, que vai demandar atenção dos profissionais dessa área, na parte de governança, na parte de relacionamento com a sociedade, aquelas habilidades que eu falei ali, não só o conhecimento técnico, mas o conhecimento de lidar com as pessoas.

Além do que, conforme destacado por Etzkowitz e Zhou (2017), a presença de uma sociedade civil vibrante e engajada é fundamental para estabelecer uma base sólida e inclusiva para esse processo de interação entre os atores. Essa constatação ressalta a necessidade de uma abordagem mais holística e participativa na promoção do desenvolvimento sustentável, que leve em consideração não apenas os interesses econômicos e institucionais, mas também as preocupações sociais e ambientais.

- **Subsistema educativo**

A Classe 5 (cor roxa), abrange uma variedade de termos relacionados à educação, conscientização ambiental e interações sociais. Palavras como “vida”, “meio ambiente”, “professor” e “aluno” indicam um foco na educação e na sensibilização para questões ambientais na promoção da educação ambiental e na construção de uma consciência coletiva sobre a importância da proteção do meio ambiente para as gerações presentes e futuras.

O participante E5 ressalta a falta de atenção dos governos anteriores em garantir que as grandes empresas trazidas para a região ofereçam benefícios reais para a população local.

Nas últimas décadas, esses governos que aí estavam, seja do PT ou de qualquer outro partido, eles sempre colocaram como importância trazer grandes empresas, mas nunca observaram o que essas empresas trariam de benefício real pra o povo. Porque se observar, a maioria desses que trabalham nessas empresas não são do Ceará. (E5).

Por fim, considerando que a partir das análises percebeu-se que o modelo que atua no estado do Ceará ainda é o de Hélice Tríplice, conforme os resultados de Ribeiro Filho et al., (2022). Elaborou-se a Figura 4 para demonstrar essa relação dos atores na formação do *Hub* de H2V:

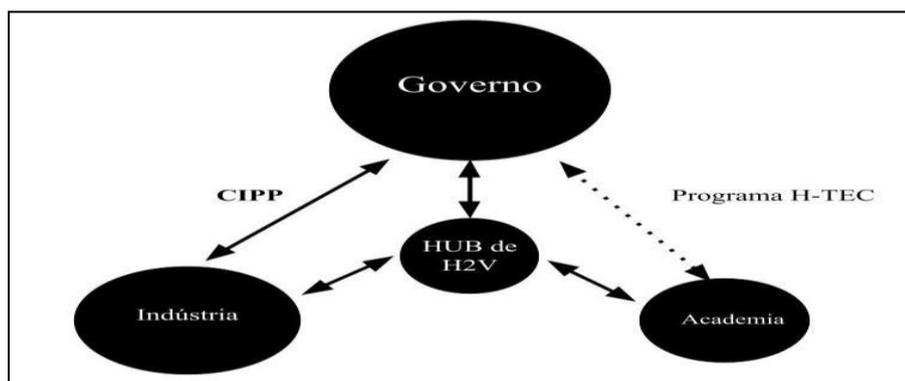


Figura 4 - Modelo de Hélice Tríplice do Ceará na transição energética a partir do H2V

Na literatura sobre as Hélices (Tripla, Quádrupla e Quíntupla), especificamente a Hélice Quíntupla, não fica claro quanto à necessidade de relações bilaterais entre essas hélices para que o modelo seja efetivamente considerado um paradigma de interação e colaboração entre os atores. Ou seja, não foi possível verificar se antes que se possa reconhecer a presença de uma Hélice Tripla (academia-indústria-governo), necessariamente, deve ocorrer relações entre indústria-governo, indústria-academia e academia-governo.

O modelo de Hélice Tríplice balanceado (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000), conforme identificado por Ribeiro Filho et al., (2022), pressupõe uma atuação harmoniosa entre os atores envolvidos, sendo esta relação constituída por organizações sobrepostas e igualitárias (Etzkowitz, 2013), o que não foi possível constatar de maneira consistente nesta pesquisa. Dentro do CIPP, observa-se uma forte interação entre a indústria e o governo, evidenciada, por exemplo, pela presença da ZPE. Bem como, uma relação entre academia e governo tem começado a se fortalecer, como visto no programa H-TEC, que visa à formação de pessoal técnico na área de energias renováveis.

No entanto, percebe-se certos pontos de fragilidade nesse modelo balanceado apontado por Ribeiro Filho et al., (2022) reforçando o que foi apontado por (Fischer et al., 2019) que modelos de Hélice tríplice de países em desenvolvimento ainda necessitam de maturidade. Um dos principais pontos levantados é a predominância do governo na liderança das iniciativas relacionadas ao desenvolvimento do *hub* de hidrogênio verde. Embora o envolvimento ativo do governo seja importante para fornecer direção e recursos, a dependência excessiva dele pode limitar a autonomia e a iniciativa dos outros atores, academia e indústria. Isso pode resultar em uma falta de diversidade de perspectivas e abordagens inovadoras no processo de desenvolvimento do *hub*.

Além disso, não foi observada uma relação bilateral entre a indústria e a academia. A teoria da Hélice Tríplice sugere que a academia deve desempenhar um papel ativo na promoção da inovação e do empreendedorismo, no entanto, os resultados sugerem que ela ainda não está plenamente engajada nessa função. Investir em programas de empreendedorismo acadêmico, incentivar a criação de startups e facilitar a transferência de tecnologia da academia para o mercado são estratégias-chave para fortalecer o papel da academia como catalisadora da inovação.

A falta de uma relação bilateral sólida entre indústria e academia é uma lacuna importante a ser considerada. A colaboração entre esses dois setores é fundamental para promover a transferência de conhecimento, impulsionar a pesquisa aplicada e desenvolver soluções tecnológicas inovadoras. A criação de espaços de colaboração como laboratórios compartilhados ou programas de estágio e pesquisa conjunta, pode ajudar a fortalecer essa interação e promover uma cultura de inovação colaborativa.

Propõe-se que a existência de relações bilaterais seja fundamental para o efetivo desenvolvimento da Teoria das Hélices, como observado no Hub de H2V no Ceará. A falta de interação entre indústria e academia pode impossibilitar a implementação de laboratórios devido à escassez de recursos financeiros, especialmente considerando que as universidades frequentemente dependem exclusivamente de financiamento público do governo. Se essa relação existisse, a indústria não só investiria em laboratórios universitários para garantir as patentes resultantes, mas também estabeleceria laboratórios dentro de suas próprias instalações, estreitando o relacionamento entre os setores e impulsionando a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação no país, sugerindo uma atuação dos agentes que ultrapasse os papéis "rigidamente" definidos no modelo *laissez-faire*, conforme propõem Etzkowitz (2013), Ranga e Etzkowitz (2013), Yoda e Kuwashima (2019) e Zhou (2017).

Em suma, entende-se no presente estudo que para alcançar um modelo de Hélice Triplíce verdadeiramente balanceado e colaborativo, é determinante que haja interação e cooperação entre academia e indústria, o que não foi resolvido pelo memorando de entendimento entre secretarias de Estado, Complexo do Pecém (CIPP S/A), Fiec e UFC na constituição do Hub de H2V. Pois, conforme Etzkowitz e Leydesdorff (2000), as interações entre os agentes não seguem necessariamente uma linha direta, podendo assumir diversas formas e níveis, o que resulta em novas configurações de colaboração entre os atores. Etzkowitz (2003) propõe três tipos de arranjos entre os agentes, cada um com um propósito específico: (a) organizações voltadas para ganhos econômicos por meio de trocas; (b) organizações focadas na geração e agregação de conhecimento e inovação; e (c) organizações com objetivos políticos e gerenciais, visando à necessidade de controle normativo entre as partes.

O modelo identificado para o hub de H2V do Ceará apresenta uma peculiaridade que se diferencia dos padrões tradicionais encontrados na literatura. Enquanto os modelos propostos pela Teoria das Hélices, pressupõem uma interação equilibrada entre os diferentes atores (Etzkowitz & Leydesdorff, 1995; Etzkowitz & Zhou, 2017), o cenário observado no Hub de H2V do Ceará demonstra se enquadrar mais em um mix entre *laissez-faire* (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000) e estatista (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000), divergindo do modelo balanceado proposto por Ribeiro Filho et al., (2022), uma vez que o governo tem sido o líder da maior parte das iniciativas, se aproximando também do modelo Triângulo de Sábado, a qual destaca a importância do Estado na regulação dos vínculos entre o setor governamental, a infraestrutura tecnológica e a indústria (Sábato & Botana, 1968).

Ademais, considerando que ainda não há uma articulação efetiva da Hélice Tripla no contexto do Hub no Ceará, apesar dos esforços para promover a colaboração entre academia, indústria e governo, percebe-se que há um longo trajeto a ser percorrido para atingir o modelo ideal da Hélice Quíntupla (foco do presente estudo), pois conforme já discutido, a Hélice Tripla apresenta dificuldades para ser aplicada em diversos contextos (Nordberg, 2015; Galvão et al., 2017; Yoon et al., 2017; Saad & Zawdie, 2005; Cai, 2015). Esse modelo almejado não apenas envolve os três atores principais, mas também incorpora a sociedade e o meio ambiente (Carayannis & Campbell, 2011; Carayannis et al., 2017)

A integração da sociedade e do meio ambiente é fundamental para garantir que o desenvolvimento do *hub* de hidrogênio verde seja sustentável e responsável. A participação ativa da sociedade civil, incluindo comunidades locais, grupos de interesse e organizações não governamentais, é essencial para garantir que as preocupações e necessidades das partes interessadas sejam consideradas e incorporadas no processo decisório (Carayannis & Rakhmatullin, 2014). Além disso, a consideração dos impactos ambientais e a adoção de práticas sustentáveis são elementos-chave para garantir que o desenvolvimento do *hub* seja ecologicamente correto e esteja alinhado visando a mitigação das mudanças climáticas e a proteção do meio ambiente (DeLa Veja & Barcellos, 2020).

Após identificar as lacunas na atual interação entre os atores da hélice tríplice e reconhecer a necessidade de avançar em direção a um modelo de Hélice Quíntupla, é fundamental propor um plano de ação para promover uma colaboração mais abrangente e integrada entre academia, indústria, governo, sociedade civil e meio ambiente. Nesse contexto, a Figura 5 ilustra o modelo de Hélice Quíntupla proposto para o Ceará, com aplicabilidade também para o Brasil.

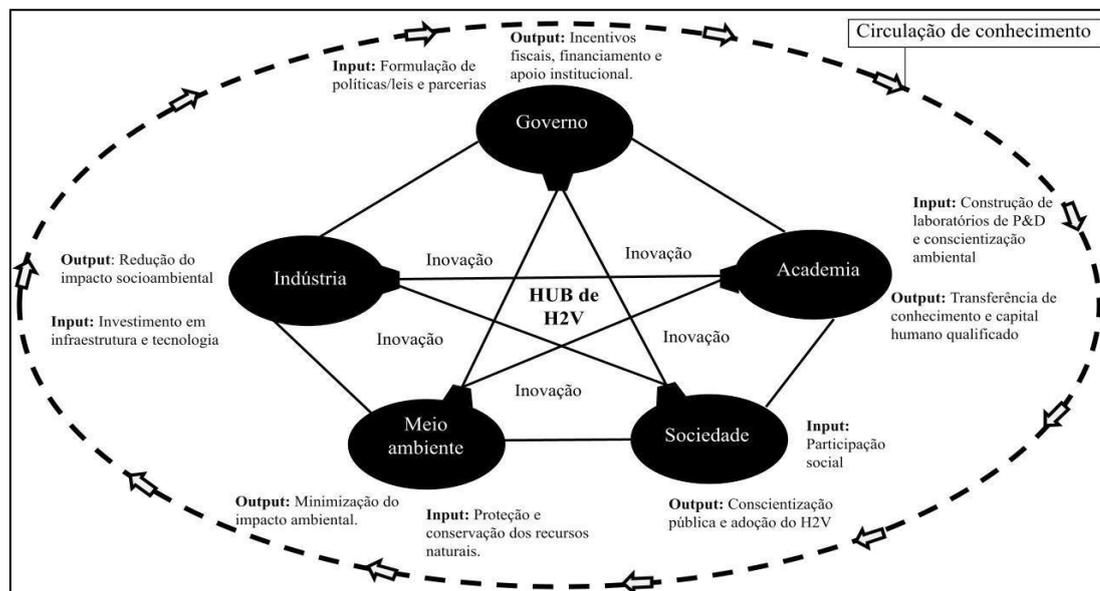


Figura 5 - Hélice Quíntupla para competitividade na transição energética por meio do *hub* de H2V do Ceará

Nota: Elaborado pelas autoras (2024) com base em Carayannis et al., (2012).

O modelo apresentado aborda a dinâmica da implementação do hidrogênio verde (H2V) através da interação de diferentes atores-chave: governo, academia, sociedade, meio ambiente e indústria. No âmbito governamental, o processo tem início com a formulação de políticas e leis voltadas para o desenvolvimento do H2V, além do estabelecimento de parcerias para financiamento de projetos e concessão de incentivos fiscais. O resultado esperado disso é a disponibilização de incentivos fiscais, financiamento e apoio institucional para projetos relacionados ao H2V, criando um ambiente regulatório estável que estimule o investimento nesse setor.

Na esfera acadêmica, destaca-se o papel importante na implantação de laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento dentro da indústria ou na captação de financiamento para os laboratórios da própria universidade. Essas ações resultam na transferência de conhecimento e inovação para a indústria e o governo, ao mesmo tempo em que contribuem para a formação de capital humano no setor de H2V.

Na esfera social, é necessário que governo, universidade e indústria estabeleçam um diálogo ativo com as comunidades, reconhecendo que nessa interação, não há detentores exclusivos do saber; todos têm algo a contribuir e também a aprender. Essa troca de conhecimentos promove a conscientização pública e a adoção do H2V, impulsionando a transição para um modelo energético mais sustentável.

No que tange ao meio ambiente, o foco está na proteção e conservação dos recursos naturais, incluindo água e áreas de produção de H2V. O objetivo é minimizar o impacto ambiental da produção desse recurso, promovendo a sustentabilidade e a preservação dos ecossistemas locais.

Por fim, a indústria assume a responsabilidade de investir em infraestrutura e tecnologia para a produção e armazenamento de hidrogênio verde, sobretudo financiando laboratórios dentro e fora de suas instalações. Como resultado, espera-se a redução dos impactos socioambientais pela atuação delas na exploração dos recursos naturais relacionados ao H2V, além da própria comercialização desse recurso, impulsionando ainda mais sua adoção e desenvolvimento do mercado de H2V.

O modelo proposto procura abordar uma lacuna destacada por Mineiro et al., (2018), que apontam a escassez de estudos sobre a aplicação prática das hélices quádruplas e quántuplas. Essa ausência de pesquisa deixa incertezas sobre como esses modelos podem ser implementados e operacionalizados de forma eficaz. Portanto, este trabalho busca oferecer insights e orientações para preencher essa lacuna, proporcionando uma compreensão mais clara de como essas hélices podem ser aplicadas na prática e os benefícios que podem gerar para o desenvolvimento e a inovação.

Por fim, é relevante salientar que, em oposição aos estudos de Mineiro et al., (2018), que consideravam o meio ambiente apenas como um programa ou perspectiva, esta pesquisa reconheceu o meio ambiente como um agente com sua própria representatividade. Essa abordagem reconhece que o meio ambiente é representado por diversos atores, que podem incluir ativistas ambientais vinculados ou não a organizações não governamentais (ONGs), representantes governamentais ligados a órgãos de proteção ambiental, pesquisadores especializados em áreas de defesa ambiental, entre outros. Embora esses atores também possam desempenhar funções em outros contextos, como academia e indústria, é crucial reconhecer suas contribuições, fundamentadas em suas vivências e perspectivas no âmbito ambiental.

5 Considerações finais

O estudo atingiu seu objetivo: investigar como a implantação do *Hub* de Hidrogênio Verde do Ceará pode impulsionar a competitividade do Brasil na transição energética global à luz do Modelo de Hélice quántupla. Foi constatado que o *Hub* pode não trazer o nível de competitividade esperado para o país, devido à sua forte dependência tecnológica. A menos que haja um incremento no investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação para promover a criação e adaptação de tecnologias nacionais, o Brasil arrisca permanecer dependente de tecnologias estrangeiras, limitando assim seu potencial de competição no mercado global. Apesar disso, acredita-se que o Brasil fará parte dos grandes produtores de hidrogênio verde, atingindo certo nível de competitividade.

A análise revelou que, no contexto da criação do *hub* de hidrogênio verde no estado do Ceará, predomina o modelo de Hélice Tríplice, destacando desafios ligados à adoção de uma abordagem mais ampla, como preconiza a teoria da Hélice Quántupla. Os obstáculos identificados são a falta de engajamento da sociedade civil e a limitada consideração dos aspectos ambientais. A participação ativa e o envolvimento da sociedade e uma abordagem holística que leve em conta não apenas os aspectos econômicos e tecnológicos, mas também os impactos ambientais e sociais são cruciais para uma transição energética eficaz e sustentável.

Quanto às limitações do estudo, podem ser apontadas: a quantidade de entrevistados, especialmente na esfera da sociedade, o que pode ter impactado na representatividade da diversidade de perspectivas e experiências, prejudicando uma compreensão mais abrangente do fenômeno em estudo e pode influenciar na generalização dos resultados e também o fato do representante do meio ambiente ser vinculado ao governo, pode ter tido suas respostas tendenciosamente influenciadas, resultando em uma abordagem menos crítica e

potencialmente enviesada, caracterizada por uma tendência a apresentar visões favoráveis ao governo.

Com base nos resultados e limitações identificadas, sugere-se que pesquisas futuras abordem: a) Uma amostra mais ampla e diversificada, a fim de obter resultados mais robustos e abrangentes; b) Na hélice meio ambiente, recomenda-se a inclusão de atores mais críticos para representar o meio ambiente, como ativistas e organizações de defesa do meio ambiente, para enriquecer as entrevistas com perspectivas mais diversas e garantir uma análise mais abrangente e imparcial dos temas abordados; c) Analisar a competitividade do Brasil e de outros países latinos, à luz da Teoria institucional para comparar como as iniciativas institucionais de regulamentação dos países, concessão de licenças, definição de estratégias para o H2V podem contribuir para o diferencial competitivo desses países na transição energética global.

Este estudo traz contribuições acadêmicas ao identificar lacunas na literatura relacionadas ao Modelo de Hélices (triplo, quádruplo e quádruplo). Primeiramente, destaca-se a complexidade inerente à definição de um ator dentro de uma única hélice. Com frequência, esses atores desempenham papéis em múltiplos contextos, como exemplificado por um representante da indústria que pode estar simultaneamente envolvido na academia, no governo e, naturalmente, na sociedade civil. Essa multiplicidade de afiliações proporciona uma variedade de perspectivas e análises, cada uma moldada pelas experiências e contextos específicos vivenciados por esses atores.

Outro ponto trazido para essa discussão, é a importância das relações bilaterais entre os atores para fortalecer o Modelo de hélices. Para uma integração eficaz, como no caso da hélice tripla academia-indústria-governo, é essencial que haja forte colaboração entre indústria-academia, academia-governo e governo-indústria. Essa colaboração ativa e mútua é essencial para impulsionar a inovação, promover o desenvolvimento e alcançar os objetivos compartilhados de maneira eficiente e eficaz.

Outra contribuição deste estudo é direcionada especificamente para o aprimoramento da Teoria das Hélices Quádrupla e Quádrupla. Desenvolveu-se um modelo direcionado para Audretsch, DB, Hülsbeck, M., & Lehmann, EE (2012). Competitividade regional, transbordamentos universitários e atividade empreendedora. *Economia de pequenas empresas*, 39, 587-601. hidrogênio verde. Este modelo oferece diretrizes concretas para a implementação prática, buscando promover o desenvolvimento sustentável e a inovação no país. Isso é particularmente relevante, pois estudos anteriores identificaram uma lacuna na compreensão da operacionalização das hélices Quádrupla e Quádrupla.

Por fim, destaca-se que o estado do Ceará apresenta particularidades que não se encaixam claramente nos modelos laissez-faire, estatista ou balanceado propostos pela teoria. Este estudo sugere que o atual modelo de colaboração entre academia, empresas e governo no Ceará representa uma mistura entre o estatista e o laissez-faire, com uma forte atuação por parte do governo na promoção da interação e colaboração entre os atores-chave.

Referências

Arnkil, R., Järvensivu, A., Koski, P., & Piirainen, T. (2010). Exploring quadruple helix outlining user-oriented innovation models.

Audretsch, DB, Hülsbeck, M., & Lehmann, EE (2012). Competitividade regional, transbordamentos universitários e atividade empreendedora. *Economia de pequenas empresas*, 39, 587-601. Doi: 10.1007/s11187-011-9332-9.

Baccarne, B., Logghe, S., Schuurman, D., & De Marez, L. (2016). Governando a inovação da hélice quintuple: laboratórios vivos urbanos e empreendedorismo socioecológico. *Technology Innovation Management Review* , 6 (3), 22-30.

Bezerra, F. D. (2021). Hidrogênio verde: nasce um gigante no setor de energia.

CAI, Yuzhuo (2015). Que factores contextuais moldam a “inovação na inovação”? Integração de insights da Hélice Tríplice e da perspectiva da lógica institucional. *Informação em Ciências Sociais*, v. 3, pág. 299-326.

Carayannis, EG, & Campbell, DF (2011). Diplomacia de inovação aberta e um ecossistema fractal de pesquisa, educação e inovação (FREIE) do século XXI: construindo sobre os conceitos de inovação de hélice quádrupla e quántupla e o sistema de produção de conhecimento “modo 3”. *Journal of the Knowledge Economy* , 2 , 327-372.

Carayannis, E. G., Barth, T. D., & Campbell, D. F. (2012). The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. *Journal of innovation and entrepreneurship*, 1, 1-12.

Carayannis, EG, & Campbell, DF (2009). 'Modo 3' e 'Hélice Quádrupla': em direção a um ecossistema de inovação fractal do século XXI. *Revista internacional de gestão de tecnologia* , 46 (3-4), 201-234.

Carayannis, EG, Cherepovitsyn, AE, & Ilinova, AA (2017). Desenvolvimento sustentável da plataforma energética da zona ártica russa: o papel do modelo de hélice de inovação quintuple. *Journal of the Knowledge Economy* , 8 , 456-470.

Carayannis, EG, & Rakhmatullin, R. (2014). As hélices de inovação quádruplas/quántuplas e estratégias de especialização inteligente para crescimento sustentável e inclusivo na Europa e além. *Journal of the Knowledge Economy* , 5 , 212-239.

Castro, N.; Santos, V.; Aquino, T (2021). O Brasil e as estratégias da Alemanha para o Hidrogênio Verde. *Broadcast Energia, Agência Estado de São Paulo*. Disponível em: <<https://gesel.ie.ufrj.br/publicacao/o-brasil-e-as-estrategias-da-alemanha-para-o-hidrogenio-ver-de/>>. Acesso em: 11 jan. 2023.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2010). Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para políticas de competitividade, 2010-2025. Brasília: *Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)*.

Chomsky, N., & Pollin, R. (2020). *Crise climática e o novo acordo verde global: A economia política de salvar o planeta* . Verso Books.

da Costa Mineiro, A. A., Leandro Souza, D., Carvalho Vieira, K., Carvalho Castro, C., & José de Brito, M. (2018). Da hélice tríplice a quántupla: uma revisão sistemática. *Revista Economia & Gestão*, 18(51).

da Silva César, A., da Silva Veras, T., Mozer, TS, & Conejero, MA (2019). Cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil: Uma análise dos drivers de competitividade. *Journal of Cleaner Production* , 207 , 751-763.

de Farias, MEAC, de Fátima Martins, M., & Cândido, GA (2021). Agenda 2030 e Energias Renováveis: sinergias e desafios para o alcance do desenvolvimento sustentável. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 10 (17). <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i17.23867>.

do Carmo Galiazzi, M., & Ramos, M. G. (2013). Aprendentes do aprender: um exercício de análise textual discursiva. *Indagatio Didactica*.

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (1995). A Hélice Tríplice--Relações universidade-indústria-governo: Um laboratório para o desenvolvimento econômico baseado no conhecimento. *Revisão EASST*, 14 (1), 14-19.

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). A dinâmica da inovação: de Sistemas Nacionais e “Modo 2” a uma Hélice Tríplice de relações universidade-indústria-governo. *Política de pesquisa*, 29 (2), 109-123.

Etzkowitz, H (2013). Hélice Tríplice: Universidade-Indústria-Governo, inovação em movimento. Porto Alegre: *ediPUCRS*.

Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2017). Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. *Estudos avançados*, 31, 23-48.

Fernandes, G., Azevedo, J. H. D., Ayello, M., & Gonçalves, F. (2023). Panorama dos desafios do hidrogênio verde no Brasil.

Fischer, BB, Schaeffer, PR, & Vonortas, NS (2019). Evolução da colaboração universidade-indústria no Brasil a partir de uma perspectiva de atualização tecnológica. *Previsão tecnológica e mudança social*, 145, 330-340.

da Fonseca, R. G. (2022). A era do hidrogênio verde no século XXI. *Inovação & Desenvolvimento: A Revista da FACEPE*, 1(8), 40-45.

de Ribamar Ribeiro Filho, J., Tahim, E. F., & Veras, V. M. V. (2023). Perspectivas para o Hidrogênio Verde: uma análise à luz do modelo da Hélice Tríplice. *Brazilian Journal of Development*, 9(1), 1531-1553. DOI:10.34117/bjdv9n1-106.

Galvão, A., Mascarenhas, C., Gouveia Rodrigues, R., Marques, C. S., & Leal, C. T. (2017). A quadruple helix model of entrepreneurship, innovation and stages of economic development. *Review of International Business and Strategy*, 27(2), 261-282.

Galvão, L. A. C., Finkelman, J., & Henao, S. (2011). Determinantes ambientais e sociais da saúde.

Garlet, T. B., de Souza Savian, F., Ribeiro, J. L. D., & Siluk, J. C. M. (2024). Unlocking Brazil's green hydrogen potential: Overcoming barriers and formulating strategies to this promising sector. *International Journal of Hydrogen Energy*, 49, 553-570.

Guerra, E. L. D. A. (2014). Manual de pesquisa qualitativa. *Belo Horizonte: Grupo Anima Educação*.

Guerrero, M., Cunningham, JA, & Urbano, D. (2015). Impacto econômico das atividades das universidades empreendedoras: Um estudo exploratório do Reino Unido. *Política de pesquisa* , 44 (3), 748-764. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2014.10.008>>.

Gurlit, W., Guillaumon, J., Aude, M., & Ceotto, H. (2021). Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. *McKinsey & Company—Our Insights*.

Hansen, James; Sato, Makiko; Ruedy, Reto (2022). *Global Temperature in 2021*.

Gielen, D., Taibi, E., & Miranda, R. (2019). Hidrogênio: Uma Perspectiva Energética Revisável: Relatório preparado para a 2ª Reunião Ministerial de Energia de Hidrogênio em Tóquio, Japão.

Leydesdorff, L., & Etzkowitz, H. (1998). A hélice tripla como modelo para estudos de inovação. *Ciência e política pública* , 25 (3), 195-203.

Marengo, J. A., Nobre, C. A., Seluchi, M. E., Cuartas, A., Alves, L. M., Mendiondo, E. M., ... & Sampaio, G. (2015). A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista Usp*, (106), 31-44.

Minayo, Maria Cecília de Souza (2008). O desafio do conhecimento. 11 ed. São Paulo: Hucitec.

Moaniba, IM, Su, HN, & Lee, PC (2018). Recombinação de conhecimento e inovação tecnológica: O papel importante do conhecimento interdisciplinar. *Inovação* , 20 (4), 326-352. <https://doi.org/10.1080/14479338.2018.1478735>.

Nordberg, K. (2015). Enabling regional growth in peripheral non-university regions—the impact of a quadruple helix intermediate organisation. *Journal of the Knowledge Economy*, 6, 334-356.

ONUBR - Nações Unidas No Brasil (2015). *Acordo de Paris*.

Parra, David et al (2019). Uma revisão sobre o papel, custo e valor dos sistemas energéticos de hidrogênio para uma descarbonização profunda. *Revisões de Energia Renovável e Sustentável*, v. 101, p. 279-294.

Paz, J. (2017). A era das consequências-o par clima-consumo nos ODS e no Acordo de Paris. *Anais da ReACT-Reunião de Antropologia da Ciência e Tecnologia*, 3(3).

Pileggi, SF, & Lamia, SA (2020). Linha do tempo da mudança climática: uma ontologia para contar a história até agora. *Acesso IEEE* , 8 , 65294-65312.

Ranga, M., & Etzkowitz, H. (2015). Sistemas de Hélice Tripla: uma estrutura analítica para política e prática de inovação na Sociedade do Conhecimento. *Empreendedorismo e troca de conhecimento* , 117-158.

- Razak, AA, & White, GR (2015). O Modelo da Hélice Tripla para Inovação: Uma exploração holística de barreiras e facilitadores. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling* , 7 (3), 278-291.
- Saad, M., & Zawdie, G. (2005). Da transferência de tecnologia ao surgimento de uma cultura de hélice tripla: A experiência da Argélia em inovação e desenvolvimento de capacidade tecnológica. *Technology Analysis and Strategic Management* , 17 (1), 89-103.
- Sábato, J.; Botana, N. R (1968). Tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. *Revista de la Integración*, Comunidad Andina, p.15-36.
- Sadik-Zada, E. R. (2021). Political economy of green hydrogen rollout: A global perspective. *Sustainability*, 13(23), 13464.
- Silva, J. L. D., & Samora, P. R. (2019). Os impactos da crise hídrica sobre a população do município de Campinas/SP (2012-2016). *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11, e20170210.
- Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A., Everall, J., Sacchi, R., & Luderer, G. (2021). Potencial e riscos dos e-combustíveis à base de hidrogênio na mitigação das mudanças climáticas. *Nature Climate Change* , 11 (5), 384-393.
- Van Horne, C., & Dutot, V. (2017). Desafios na transferência de tecnologia: uma perspectiva de ator em um ambiente de hélice quádrupla. *The Journal of Technology Transfer* , 42 (2), 285-301.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de Caso-: Planejamento e métodos*. Bookman editora.
- Yoda, N.; Kuwashima, K (2019). Triple helix of university–industry— government relations in Japan: Transitions of collaborations and interactions. *Journal of the Knowledge Economy*, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 1120-1144.
- Yoon, J., Yang, J. S., & Park, H. W. (2017). Quintuple helix structure of Sino-Korean research collaboration in science. *Scientometrics*, 113, 61-81.