

PRODUTO
TÉCNICO-TECNOLÓGICO

RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

ARQUITETURA COLABORATIVA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM
ESTUDO DA DINÂMICA DE INTERAÇÕES EM UMA REDE DE PESQUISA
E INOVAÇÃO

Discente: Francisco Diego Lima dos Santos.

Orientador Prof. Dr. Diego de Queiroz Machado.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E
CONTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO E
CONTROLADORIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO E CONTROLADORIA

FRANCISCO DIEGO LIMA DOS SANTOS

Produto Técnico resultado da pesquisa

ARQUITETURA COLABORATIVA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM
ESTUDO DA DINÂMICA DE INTERAÇÕES EM UMA REDE DE PESQUISA
E INOVAÇÃO

FORTALEZA
2025

FRANCISCO DIEGO LIMA DOS SANTOS

**ARQUITETURA COLABORATIVA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM
ESTUDO DA DINÂMICA DE INTERAÇÕES EM UMA REDE DE PESQUISA
E INOVAÇÃO**

Produto Técnico-Tecnológico resultante do Trabalho de Conclusão de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria da Universidade Federal do Ceará, como produção técnica da área de concentração de Gestão Organizacional.

Linha de Pesquisa: Estratégia e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Diego de Queiroz Machado

**FORTALEZA
2025**

Título do Produto Técnico Tecnológico (PTT): Arquitetura colaborativa em energias renováveis: um estudo da dinâmica de interações em uma rede de pesquisa e inovação

Modalidade de PTT: Relatório Técnico Conclusivo

Título: “Arquitetura colaborativa em energias renováveis: um estudo da dinâmica de interações em uma rede de pesquisa e inovação

Autores: Francisco Diego Lima dos Santos e Prof. Dr. Diego de Queiroz Machado

Coordenação do Programa de Pós-Graduação: Prof. Dr. Alessandra Carvalho de Vasconcelos

Vice-coordenador(a) do PPAC Profissional; Prof. Dr. Augusto César de Aquino Cabral

Editor: Universidade Federal do Ceará (UFC)

Edição Eletrônica: dezembro de 2025

ISBN: 978-85-7485-624-7

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade (FEAAC)

Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria – PPAC Profissional

Av. da Universidade, 2431, Benfica, CEP 60020-180, Fortaleza-CE

Telefone: (85) 3366-7816

Endereço eletrônico: <https://ppacprof.ufc.br>

Produto Técnico-Tecnológico (PTT) resultante da dissertação intitulada Arquitetura colaborativa em energias renováveis: um estudo da dinâmica de interações em uma rede de pesquisa e inovação

Resultado da pesquisa; ARQUITETURA COLABORATIVA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM ESTUDO DA DINÂMICA DE INTERAÇÕES EM UMA REDE DE PESQUISA E INOVAÇÃO

Turma: MPAC/2023

Instituição contratante: Instituto Euvaldo Lodi – IEL

Prezado Sr.(a) “Presidente/Superintendente/Diretor(a) da Instituição Contratante”,

Apresentamos a seguir um Relatório Técnico Conclusivo referente à pesquisa que fundamenta a dissertação elaborada por Francisco Diego Lima dos Santos, sob a orientação do Prof.(a) dr. Diego de Queiroz Machado, no período de 2023 a 2025, no âmbito do Mestrado Profissional em Administração e Controladoria da Universidade Federal do Ceará.

Estamos certos de que este trabalho constitui um relevante instrumento para melhorias das ações empreendidas pelo(a) “instituição contratante” junto a suas instituições parceiras.

Atenciosamente,

Francisco Diego Lima dos Santos, Me. em Administração e Controladoria (UFC)
, Dr. Diego de Queiroz Machado.

1. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

Este relatório apresenta os resultados da pesquisa desenvolvida no âmbito da dissertação de mestrado do Programa de pós-graduação em Administração e Controladoria (PPAC) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A linha de pesquisa desse estudo concentra-se no campo “Estratégia e Sustentabilidade”.

O estudo sobre a dinâmica das interações em uma rede de pesquisa e inovação localizada no estado do Ceará, Brasil. O estudo acontece frente à transição energética global e ao potencial cearense na geração de energia advinda de fontes limpas “eólica e solar”, além do potencial do estado para a geração de hidrogênio verde. A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) fomentou a criação desta rede para integrar pesquisadores de diversas instituições (UFC, IFCE, UECE, UEA, FIEC etc.) em grupos temáticos de pesquisa.

O foco deste trabalho reside na análise da Arquitetura Colaborativa da rede, investigando como as interações planejadas (rede *a priori*) se comparam às interações reais que emergiram no cotidiano da rede de pesquisadores (rede *a posteriori*). O objetivo foi fornecer um diagnóstico estrutural para otimizar a colaboração e a inovação no ecossistema de energias renováveis.

A elaboração deste produto técnico adotou uma abordagem mista (quantitativa e qualitativa), com foco na Análise de Redes Sociais (ARS). A tipologia da pesquisa caracteriza-se como descritiva e exploratória. A coleta de dados se deu por meio de dados secundários, documentos de constituição da rede, que serviram para mapear a amostra inicial de 66 pesquisadores da (rede *a priori*) e de dados primários, por meio de um questionário eletrônico, contendo sete perguntas abertas, o qual buscou capturar o grau de colaboração que os pesquisadores mantinham entre eles no âmbito da (Rede Alpha – nome fictício).

Para a análise dos dados coletados, foi necessário o uso do software Gephi para a visualização dos grafos e o cálculo das métricas de rede e de nó. As métricas de rede buscam compreender a dinâmica de interação da rede como um todo. Neste estudo, foram utilizadas a Densidade de Rede, que representa o número de conexões no grafo em relação ao total possível, e o Diâmetro de Rede, que mostra a maior distância entre os nós dentro do grafo. A Centralização indica o grau de concentração das conexões na rede como um todo, enquanto a Modularidade mede a força de subdivisão da rede em módulos ou claustrós. As métricas de nós buscam entender a influência de cada nó na rede global: a centralidade de grau, que conta

o número de conexões diretas de um nó (entradas e saídas), sendo um valor alto indicativo de maior influência; a centralidade de autovetor, que avalia a importância do nó com base na qualidade de suas conexões; a centralidade de intermediação, que mede a capacidade de um nó de mediar a comunicação entre outros; e a centralidade de proximidade, que indica a habilidade de um nó de alcançar todos os demais na rede.

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do estudo revelam uma disparidade significativa entre a estrutura de colaboração planejada (rede *a priori*) e a rede de interações que efetivamente emergiu (rede *a posteriori*), caracterizada por uma transição de uma organização coesa para um sistema de baixa densidade e alta segmentação. A análise realizada por meio da metodologia/ferramenta de Análise de Redes Sociais (ARS) demonstra que a colaboração efetiva ocorre predominantemente em grupos imediatos, o que amplia a distância comunicacional e dificulta a difusão transversal do conhecimento entre os doze subgrupos de pesquisa.

Embora tenham sido identificadas lideranças multifacetadas, como o pesquisador P20, em funções de intermediação operacional, e o P29, como influenciador por prestígio, a rede apresenta vulnerabilidades estruturais devido à dependência de um número restrito de atores para a conectividade geral. Consequentemente, o estudo aponta que os principais gargalos para a consolidação da Rede Alpha residem na governança e na articulação entre os membros que possuem influência em seus próprios clusters, e não na qualidade técnica da produção científica, o que demanda estratégias coordenadas para mitigar o isolamento dos subgrupos e fortalecer o ecossistema de inovação em energias renováveis no estado do Ceará.

No que tange aos atores-chave, identificou-se que a centralidade não está uniformemente distribuída. O pesquisador P20 destacou-se pelo maior grau de intermediação (*betweenness centrality*), atuando como ponte vital no fluxo de informações, enquanto o pesquisador P29 apresentou o maior prestígio (*closeness centrality*), sendo uma referência técnica, embora com menor atuação na conexão entre grupos distintos. Essa configuração torna a rede vulnerável, pois a eventual saída de poucos "atores-ponte" pode comprometer a integridade de toda a estrutura comunicacional da Rede Alpha.

Nas discussões qualitativas, os pesquisadores apontaram que, embora o potencial técnico para inovação em Hidrogênio Verde e energias renováveis seja de excelência, barreiras de governança, excesso de burocracia e a ausência de mecanismos formais de integração transversal limitam a transformação da rede em um ecossistema de inovação aberta. Conclui-se que a Rede Alpha opera atualmente mais como um conjunto de laboratórios independentes do que como uma arquitetura colaborativa sinérgica, o que demanda estratégias de gestão que incentivem a transdisciplinaridade e reduzam a dependência de lideranças isoladas, a fim de garantir a sustentabilidade da rede a longo prazo.

3. CONCLUSÃO

A investigação sobre a Rede Alpha permitiu concluir que a arquitetura colaborativa da rede ainda se encontra em estágio inicial de maturação, operando sob uma lógica de fragmentação que contrasta com o planejamento institucional ambicioso. Embora a rede possua um capital intelectual robusto e esteja inserida em um setor estratégico para a economia global, o Hidrogênio Verde, a análise evidenciou que a simples existência de um edital ou de uma estrutura formal não garante a colaboração efetiva entre os pesquisadores.

As principais conclusões do estudo foram a desconexão estrutural: existe uma lacuna significativa entre a rede planejada e a rede real, com interações limitadas por barreiras geográficas e institucionais, além da ausência de uma governança que estimule a transversalidade entre os 12 subgrupos de pesquisa. Dependência de Atores Centrais, a conectividade da rede é altamente dependente de poucos pesquisadores estratégicos (pontes), o que gera um risco de descontinuidade do fluxo de conhecimento caso esses atores se afastem. Potencial de Inovação, apesar dos gargalos de articulação, a rede apresenta ativos técnicos valiosos que, se integrados através de uma gestão de inovação mais ativa, podem posicionar o Ceará como protagonista na transição energética nacional.

Reconhece-se que o estudo apresenta limitações que abrem espaço para futuras investigações. A limitação mais evidente encontra-se na amostra analisada, que, embora representativa, não conseguiu capturar todos os pesquisadores da Rede Alpha, o que constitui a principal limitação deste estudo.

Em suma, a consolidação da Rede Alpha como um ecossistema de inovação de alto impacto depende menos da competência técnica individual de seus membros e mais da capacidade institucional de reduzir a distância social e de promover o compartilhamento de recursos e conhecimentos entre as diferentes instituições que a compõem. Recomenda-se a implementação de fóruns permanentes de integração e o fortalecimento do grupo de Gestão da Inovação para mitigar a atual segmentação da rede. Por fim, esta pesquisa revelou que as interações em uma rede de pesquisa são complexas e estruturadas, e que a utilização da ARS se mostra uma metodologia poderosa para estudar tais ambientes, o que nos leva a compreender com mais clareza a dinâmica dessas redes.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Cadastro E-MEC**. Cadastro Nacional de Cursos e Instituições de Educação Superior. 2017. Disponível em: <https://emec.mec.gov.br/>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO (CGU). **Escala Brasil Transparente** – Avaliação 360°. 2. ed. Brasília: Controladoria-Geral da União, 2021. Disponível em: <https://mbt.cgu.gov.br/publico/portal/metodologia360edicao2/66>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- FREEMAN, L. C. A set of measures of centrality based on betweenness. **Sociometry**, v. 40, n. 1, p. 35–41, 1977.
- FREEMAN, L. C. Centrality in social networks conceptual clarification. **Social Networks**, Amsterdam, v. 1, n. 3, p. 215-239, 1979.
- FREEMAN, L. C. **The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science**. Vancouver: Empirical Press, 2004.
- GEPHI. **Gephi**: Software para visualização e exploração de redes. [S.l.]: Gephi Consortium, 2023. Versão 0.10.1. Disponível em: <https://gephi.org/>. Acesso em: 01 Jan. 2025.
- MILGRAM, Stanley. The Small-World Problem. **Psychology Today**, v. 1, n. 1, p. 61-67, maio 1967.
- KOSCHATZKY, K. **Networks in Innovation Research and Innovation Policy** – An Introduction. Technology, innovation and policy 12. Series of the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI). 2001.
- RECUERO, R. **Redes Sociais na Internet**. Porto Alegre: Sulina, 2009.
- SACCOL, A. Z. Um retorno ao básico: compreendendo os paradigmas de pesquisa e sua aplicação na pesquisa em administração. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 250–269, 2010.
- SCOTT, J. **Social Network Analysis: A handbook**. 2. ed. New York: SAGE, 2001.
- SHEBLE, L.; BRENNAN, K.; WILDEMUTH, B. M. Social network analysis. In: WILDEMUTH, Barbara M. (Ed.). **Applications of social research methods to questions in information and library science**. 2. ed. 2016. p. 339-350. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313820672_Social_network_analysis. Acesso em: 15 set. 2025.

DETALHAMENTO DO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

1. ADERÊNCIA

1.1 Relação/afinidade da produção com a área de concentração do Programa:

A presente produção apresenta afinidade com a Gestão Organizacional, área de concentração do Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria (PPAC Profissional), por investigar a estruturação e a dinâmica de governança em redes de cooperação tecnológica. O estudo aplica ferramentas de gestão estratégica e de Análise de Redes Sociais (ARS) para diagnosticar fluxos de comunicação, identificar lideranças e avaliar a eficiência da arquitetura organizacional da Rede Alpha. Ao analisar como a interação entre múltiplos atores (IES, ICTs e setor produtivo) impacta a capacidade de inovação e a transferência de tecnologia no setor de energias renováveis, a pesquisa contribui diretamente para o campo das organizações, oferecendo subsídios para o aprimoramento de processos decisórios, a coordenação de equipes multidisciplinares e a otimização de recursos em arranjos colaborativos complexos.

1.2 Relação/afinidade da produção com uma das linhas de pesquisa do Programa:

A presente produção apresenta afinidade com a linha de pesquisa Estratégia e Sustentabilidade, por investigar a configuração de uma rede de inovação voltada às energias renováveis, tema central na agenda contemporânea de desenvolvimento sustentável. O estudo analisa como o arranjo estratégico entre diferentes instituições (IES e ICTs) e a arquitetura colaborativa da Rede Alpha podem potencializar a vantagem competitiva do Estado do Ceará no mercado de Hidrogênio Verde. Ao empregar a Análise de Redes Sociais para diagnosticar gargalos e oportunidades de integração, a pesquisa contribui para o campo da estratégia ao discutir como a governança de redes e a cooperação tecnológica atuam como vetores de sustentabilidade econômica e ambiental, promovendo a descarbonização e o fortalecimento de ecossistemas de inovação de baixo carbono.

1.3 Relação/afinidade da produção com um dos projetos de pesquisa do orientador do TCC:

O presente estudo apresenta afinidade com o projeto de pesquisa intitulado “Configurações Organizacionais, Estratégia e Governança em Ambientes Cooperativos”, liderado pelo Professor Dr. Diego de Queiroz Machado, devido à convergência temática no estudo dos arranjos interorganizacionais. A pesquisa de mestrado aprofunda o entendimento sobre como a arquitetura de colaboração e as interações entre os membros de redes de inovação, temas centrais nos estudos do orientador, influenciam a consecução de objetivos estratégicos. Ao investigar a Rede Alpha sob a ótica da Análise de Redes Sociais (ARS), o trabalho complementa as investigações do líder de pesquisa sobre comportamento em ambientes complexos, governança de redes e a dinâmica de grupos voltados à sustentabilidade e à inovação tecnológica."

2. IMPACTO

- () Ausência de Impacto de transformação do ambiente ao qual se destina
- () Baixo Impacto de transformação do ambiente ao qual se destina

- (x) Médio Impacto de transformação do ambiente ao qual se destina
 () Alto Impacto de transformação do ambiente ao qual se destina

Justificativa: O estudo já promoveu uma transformação imediata ao fornecer à governança da rede uma visão sistêmica inédita, passando de percepções subjetivas a dados quantitativos de ARS. A identificação técnica dos "pesquisadores-ponte" e dos subgrupos isolados permitiu que a gestão da rede iniciasse o redirecionamento de seus canais de comunicação, priorizando a integração de laboratórios que, embora tecnicamente complementares, operavam de forma estanque. O produto serviu como um "espelho organizacional", forçando uma reavaliação das estratégias de fluxo de informações e evidenciando a necessidade de menor dependência de lideranças centralizadoras.

3. APLICABILIDADE

3.1 Aplicabilidade realizada - grau de facilidade com que o produto foi empregado.

- () Não aplicada
 () Baixa aplicabilidade realizada
 (x) Média aplicabilidade realizada
 () Alta aplicabilidade realizada

Justificativa: O nível de alta aplicabilidade alcançado justifica-se pelo grau de facilidade com que o produto foi empregado, pois o diagnóstico sociométrico foi construído a partir de dados relacionais e estruturais já existentes na base da Rede Alpha, que careciam de uma sistematização analítica. A aplicação foi facilitada pela utilização de métricas de Análise de Redes Sociais (ARS) que traduziram informações complexas de interação em indicadores visuais e quantitativos (grafos e índices de centralidade) de fácil interpretação para a coordenação. A facilidade de emprego do produto manifestou-se na prontidão com que os resultados puderam ser integrados às reuniões de planejamento da rede, permitindo identificar, sem a necessidade de novos investimentos financeiros, quais subgrupos estavam isolados e quais pesquisadores atuavam como gargalos ou pontes de informação. Portanto, a ferramenta demonstrou ser um instrumento de gestão de baixa barreira de implementação e alto valor estratégico, podendo ser incorporada à governança como método de monitoramento da saúde colaborativa do ecossistema de energias renováveis.

3.2 Replicabilidade - capacidade de ser replicável em outros contextos.

- () Restrita
 (x) Irrestrita
 () Escalável

Justificativa: A replicabilidade, caracterizada como escalável, justifica-se pela natureza metodológica do produto, que utiliza a Análise de Redes Sociais (ARS) como base diagnóstica. Por fundamentar-se em métricas matemáticas e algoritmos de grafos (como densidade, centralidade e modularidade), o modelo desenvolvido não se limita apenas à Rede Alpha ou ao setor de energias renováveis. Aumentar o escopo: O modelo pode absorver a

entrada de novos pesquisadores e instituições sem perder precisão, permitindo o monitoramento contínuo à medida que a rede cresce. Transferência de contexto: A lógica de mapeamento e identificação de gargalos pode ser replicada em outros arranjos produtivos locais, redes de inovação de diferentes estados ou até em ecossistemas corporativos que busquem otimizar a colaboração interorganizacional. Padronização: Por utilizar softwares amplamente aceitos no meio acadêmico e gerencial (como o Gephi), a aplicação do produto pode ser padronizada e expandida para níveis macro (redes nacionais) ou micro (departamentos específicos), adaptando-se às necessidades do tomador de decisão.

4. **INOVAÇÃO** - intensidade do conhecimento inédito na criação e desenvolvimento do produto.

☐ **Sem inovação**

☐ **Baixo teor de inovação** - Inovação adaptativa, utilização de conhecimento pré-existente

☒ **Médio teor de inovação** - Incremental, modificação de conhecimentos pré-estabelecidos

☐ **Alto teor de inovação** - Inovação radical, mudança de paradigma

Justificativa: O teor médio de inovação justifica-se pelo caráter incremental do produto técnico desenvolvido. A inovação não reside na criação da técnica de Análise de Redes Sociais (ARS) em si, mas na sua aplicação customizada e inédita para o diagnóstico da arquitetura colaborativa da Rede Alpha no contexto do Hub de Hidrogênio Verde no estado do Ceará. Um dos aspectos de inovação consiste na modificação de conhecimentos pré-estabelecidos: o estudo adaptou métricas estruturais (densidade, centralidade e modularidade) para traduzir o comportamento dos pesquisadores em indicadores de desempenho organizacional, permitindo uma visualização que não existia previamente na gestão da rede. Outro aspecto de inovação se dar pelo desenvolvimento de um modelo de análise comparativa: A criação de um método para contrastar a rede planejada (*a priori*) com a rede emergente (*a posteriori*) gerou um novo "framework" de monitoramento para a governança de redes de PD&I, permitindo identificar gargalos de integração que o conhecimento puramente administrativo tradicional não conseguia detectar e por fim, a sistematização de dados relacionais: A transformação de currículos, publicações e histórico de parcerias em um grafo dinâmico representa uma evolução na forma como a Rede Alpha compreende seu próprio capital social, oferecendo uma base científica para a tomada de decisão estratégica e para a melhoria da colaboração interorganizacional.

5. **COMPLEXIDADE** (está relacionada ao grau de interação dos atores, relações e conhecimentos necessários à elaboração e ao desenvolvimento de produtos técnico tecnológicos – peças envolvidas na elaboração e/ou validação do produto).

☐ **Não complexo**

☐ **Baixa complexidade** - Inovação adaptativa, utilização de conhecimento pré-existente

☒ **Média complexidade** - Incremental, modificação de conhecimentos pré-estabelecidos

☐ **Alta complexidade** - Inovação radical, mudança de paradigma

Justificativa: A média complexidade do produto técnico justifica-se pela necessidade de articular e integrar conhecimentos de diferentes domínios para a sua elaboração, indo além da simples aplicação de rotinas administrativas. O desenvolvimento do diagnóstico exigiu a manipulação e o tratamento de uma base de dados robusta, envolvendo mais de 70 pesquisadores e 14 instituições distintas, o que demandou um alto grau de rigor metodológico e analítico. A Integração de Atores: A elaboração do produto envolveu a análise de interações multidimensionais entre pesquisadores de diversas áreas do conhecimento (Engenharias, Química, Gestão, Física), o que exigiu que o autor compreendesse as nuances das colaborações em um ambiente de inovação aberta. Conhecimentos Necessários: Foi necessária a utilização conjunta de teorias de redes sociais, gestão estratégica e do domínio de softwares especializados (Gephi), o que permitiu a transformação de dados brutos de currículos e interações em inteligência organizacional. Validação do Produto: O desenvolvimento não foi um processo isolado, mas sim um esforço que exigiu a compreensão das dinâmicas reais da Rede Alpha, sendo validado pela capacidade do produto de explicar fenômenos complexos de fragmentação e liderança, percebidos empiricamente pela gestão, mas que careciam de comprovação técnica e visual.

ISBN: 978-85-7485-624-7