

A DIFUSÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NO NORTE FLUMINENSE: O CASO DO POLO DE INOVAÇÃO CAMPOS DOS GOYTACAZES

Marta Lucia Azevedo Ferreira

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca | marta.ferreira@cefet-rj.br

Leandro Bruno Santos

Universidade Federal Fluminense | leandrobruno@id.uff.br

Thailson Carvalho Reis

Universidade Federal Fluminense | thailsonreis@id.uff.br

Sessão Temática 2 - Desenvolvimento Regional: Políticas, Escalas e Ações

Resumo: A rápida difusão e a variedade de tecnologias facilitadoras recentes envolvendo digitalização da produção, automação, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), big data, computação em nuvem, segurança de dados, realidade aumentada, simulação, bem como aprendizagem de máquina e manufatura aditiva vêm sendo tratadas como um novo paradigma tecno-econômico denominado quarta revolução industrial, indústria 4.0 ou manufatura avançada. Essa profusão de tecnologias é, antes de mais nada, um projeto político em construção por sistemas nacionais de inovação liderados por Estados Unidos, China, Alemanha, Japão e Coreia do Sul. Nesse contexto, o objetivo deste artigo é investigar o papel da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii) no desenvolvimento e difusão desse novo paradigma tecno-econômico na região do norte fluminense por meio do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes, tendo como recorte analítico os projetos desenvolvidos em parceria com as empresas regionais. Trata-se de uma pesquisa empírica, qualitativa e descritiva baseada em compilação bibliográfica e documental complementada por pesquisa de campo constituindo-se como um estudo de caso. Verifica-se que estimular a cooperação entre o Polo e as empresas é uma importante contribuição da Embrapii a nível nacional e regional, especialmente quando se considera a missão de desenvolvimento da indústria 4.0 prevista na nova política industrial brasileira.

Palavras-Chave: Indústria 4.0; Sistema Regional de inovação; Embrapii; Polo de Inovação Campos dos Goytacazes.

THE DIFFUSION OF INDUSTRY 4.0 IN THE NORTHERN REGION OF RIO DE JANEIRO: THE CASE OF THE CAMPOS DOS GOYTACAZES INNOVATION CENTER

Abstract: The rapid diffusion and variety of recent enabling technologies involving digitization of production, automation, the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), big data, cloud computing, data security, augmented reality, simulation, as well as machine learning and additive manufacturing have been treated as a new techno-economic paradigm called the fourth industrial revolution, industry 4.0 or advanced manufacturing. This profusion of technologies is first and foremost a political project under construction by national innovation systems led by the United States, China, Germany, Japan and South Korea. In this context, the aim of this article is to investigate the role of the Brazilian Company for Industrial Research and Innovation (Embrapii) in the development and dissemination of this new techno-economic paradigm in the northern region of Rio de Janeiro through the Campos dos Goytacazes Innovation Center, focusing on projects developed in partnership with regional companies. This is an empirical, qualitative and descriptive study based on bibliographic and documentary compilation, complemented by field research and constituting a case study. It was found that stimulating cooperation between the Innovaation Center and companies is an important contribution by Embrapii at national and regional level, especially when considering the mission of developing industry 4.0 as set out in Brazil's new industrial policy.

Keywords: Industry 4.0; Regional Innovation System; Embrapii; Campos dos Goytacazes Innovation Center.

LA DIFUSIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL NORTE FLUMINENSE: EL CASO DEL POLO DE INNOVACIÓN CAMPOS DOS GOYTACAZES

Resumen: La rápida difusión y variedad de las recientes tecnologías facilitadoras que implican la digitalización de la producción, la automatización, el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), los macrodatos, la computación en la nube, la seguridad de los datos, la realidad aumentada, la simulación, así como el aprendizaje automático y la fabricación aditiva se han tratado como un nuevo paradigma tecnoeconómico denominado cuarta revolución industrial, industria 4.0 o fabricación avanzada. Esta profusión de tecnologías es, ante todo, un proyecto político en construcción por los sistemas nacionales de innovación liderados por Estados Unidos, China, Alemania, Japón y Corea del Sur. En este contexto, el objetivo de este artículo es investigar el papel de la Empresa Brasileña de Investigación e Innovación Industrial (Embrapii) en el desarrollo y la difusión de este nuevo paradigma tecnoeconómico en la región norte de Río de Janeiro a través del Centro de Innovación Campos dos Goytacazes, centrándose en los proyectos desarrollados en asociación con empresas regionales. Se trata de un estudio empírico, cualitativo y descriptivo, basado en la recopilación bibliográfica y documental, complementado por la investigación de campo y constituyendo un estudio de caso. Se constató que el estímulo a la cooperación entre el Hub y las empresas es una importante contribución de Embrapii a nivel nacional y regional, especialmente si se considera la misión de desarrollar la industria 4.0 establecida en la nueva política industrial de Brasil.

Palabras Clave: Industria 4.0; Sistema Regional de innovación; Embrapii; Centro de Innovación Campos dos Goytacazes

INTRODUÇÃO

A literatura econômica sobre inovação ressalta o papel da cooperação entre universidades, institutos e laboratórios de pesquisa e empresas para a geração de tecnologias e inovações visando o desenvolvimento econômico de países e regiões (BRITTO, 2021; SZAPIRO et al., 2021). Os sistemas de inovação são formados por redes de atores envolvendo conhecimentos explícitos e tácitos, relações formais e informais, relações de trabalho, política e financiamento governamental, ambiente institucional favorável e arranjos institucionais específicos (CAVALCANTE et al., 2021). A inovação é um processo sistêmico e interativo de natureza localizada que envolve incerteza, risco, alto custo e em geral longo tempo de maturação.

Essa literatura mostra ainda que sucessivas ondas de inovação vêm ocorrendo desde a revolução industrial do século XVIII, culminando no século XXI com o debate sobre a quarta revolução industrial, indústria 4.0 ou manufatura avançada a partir do advento de tecnologias digitais que vêm impactando significativamente os ambientes físico, digital e biológico (SCHWAB, 2016). Trata-se de um novo paradigma tecno-econômico que se caracteriza por um modelo de práticas ótimas de uso dessas novas tecnologias nas indústrias pré-existentes e naquelas novas, bem como por um conjunto interrelacionado de tecnologias com capacidade de transformar todo o restante da economia e da sociedade (PÉREZ, 2010; TIGRE, 2019).

Os sistemas digitais que gerenciam os mundos físico e virtual, a digitalização da produção, a automação, bem como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), *big data*, computação em nuvem, segurança de dados, realidade aumentada, simulação, aprendizagem de máquina e manufatura aditiva vêm moldando uma nova realidade (SOLTOVSKI et al., 2020). Os autores apontam a capacidade de conexão entre dispositivos, a virtualização, a autonomia decisória das máquinas, a alta capacidade de coleta e análise de dados em tempo real, a flexibilidade dos sistemas e a combinação entre produtos e serviços como princípios marcantes.

Como afirma Tigre (2019), mais do que um novo paradigma ou sistema tecnológico, trata-se de um novo paradigma tecno-econômico, pois essas mudanças afetam toda a economia. De fato, a rápida difusão da internet vem permitindo a integração de diferentes tecnologias e o desenvolvimento de inovações radicais em modelos de negócio e na organização da produção de bens e serviços. Segundo Capello et al. (2020), todas essas tendências podem ser vistas como tecnologias facilitadoras (*enabling technologies*) que dependem de tecnologias de base (*core technologies*) formadas pelas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) que incluem *hardwares* e *softwares*. Existem ainda os domínios de aplicação (*application domains*) compreendidos como atividades econômicas de desenvolvimento e difusão dessas tecnologias.

O estabelecimento de um paradigma tecno-econômico ocorre, em grande parte, graças a políticas industriais e de inovação tecnológica, a investimentos incipientes ou ousados,

intensivos em capital feitos pela “mão invisível do Estado” (MAZZUCATO, 2014). O desenvolvimento dessas tecnologias facilitadoras faz parte da estratégia de desenvolvimento de países avançados como Alemanha, Estados Unidos, China, Japão e Coreia do Sul. Mais do que um conjunto sistêmico e interdependente de técnicas, o paradigma tecno-econômico da indústria 4.0 é um projeto político de países que buscam estabelecer o perfil e a configuração deste novo paradigma para impô-lo aos demais (ARBIX et al., 2017; LUCENA et al., 2020).

No Brasil, apesar dos esforços governamentais de fortalecimento do Sistema Nacional de Inovação (SNI) a partir de 2003, os desafios de coordenação, implementação, avaliação e continuidade de políticas públicas persistem aliados à falta de uma estratégia de desenvolvimento de longo prazo (FERREIRA, 2015; FERREIRA et al., 2024). As idiossincrasias nacionais, o paradigma tecno-econômico em curso e a ausência de estratégia colocam o país em situação de fragilidade interna e de desvantagem global (CROCCO, 2022). O processo de digitalização heterogêneo é agravado pela baixa preocupação com o futuro e os riscos envolvidos nas mudanças tecnológicas atuais (TORRACA et al., 2023).

A difusão da indústria 4.0 é seletiva e concentrada no território, acompanhando a infraestrutura de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I) nele presente (SANTOS & CLAUDIO, 2024). Acrescente-se a isso a baixa adoção de tecnologias digitais pela indústria nacional que dificulta a difusão da indústria 4.0, bem como a falta de uma estratégia nacional para a indústria 4.0 (REIS & FERREIRA, 2024). Porém, algumas ações nesta direção vêm ocorrendo no país desde 2016, destacando-se entre as mais recentes a Proposta do Plano Brasileiro de Inteligência Artificial 2024-2028 denominado IA para o Bem de Todos e o Plano de Ação para a Neoindustrialização 2024-2028 ou Nova Indústria Brasil (NIB) orientado por seis missões sendo a quatro voltada para a indústria 4.0, produtos digitais e semicondutores (BRASIL, 2024).

É nesse contexto que o presente artigo se propõe a investigar o papel da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) de apoio à inovação no contexto da indústria 4.0 ao realizar a mediação entre Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTI) e empresas industriais em âmbito regional. O foco se dirige ao Estado do Rio de Janeiro (ERJ) onde a Embrapii tem sede, integrando a robusta infraestrutura de C,T&I fluminense (SANTOS, 2020). A atuação regional da Embrapii é analisada por meio de um estudo de caso no norte fluminense, mais especificamente na cidade de Campos dos Goytacazes, onde se desenvolve a parceria com o Instituto Federal Fluminense (IFF) e as empresas da região.

Assim, depois dessa breve introdução, apresenta-se na seção dois uma revisão da literatura sobre os Sistemas Regionais de Inovação (SRI) e também uma descrição das principais características do Sistema de Inovação Fluminense (SIF). Na seção três é apresentada a metodologia adotada e, na seção quatro, o estudo de caso sobre a cooperação entre a Embrapii e o IFF por meio do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG) e as empresas fluminenses. Por fim constam as considerações finais, referências utilizadas e os agradecimentos.

OS SISTEMAS REGIONAIS DE INOVAÇÃO E O SISTEMA DE INOVAÇÃO FLUMINENSE

O conceito de Sistema Nacional de Inovação (SNI) surgiu na Europa nos anos 1980 e se disseminou na década seguinte, tornando-se útil desde então para iluminar as análises sobre a dinâmica inovativa. Uma visão ampla do conceito é oferecida por Freeman (1987, 1988, 1995) e Lundvall (1985, 1988, 1992) ao considerarem a rede de instituições públicas e privadas de apoio à inovação que envolve conhecimentos e relacionamentos, além dos sistemas de incentivos e de apropriação, das relações de trabalho e das políticas e instituições de governo.

A visão restrita de SNI considera apenas as instituições que afetam diretamente as capacitações e estratégias inovativas das empresas e tem como principal representante Nelson (1990, 1992, 1993). Direcionados por políticas governamentais, os investimentos em P&D de empresas de base nacional são críticos e a estrutura científico-tecnológica tem papel de destaque, sobretudo em regime de cooperação. Esta inclui universidades, institutos e laboratórios de pesquisa, em especial nos campos das ciências e engenharias. Outro destaque é a cooperação entre universidades e empresas na criação de comunidades tecnológicas.

Além da abrangência nacional, os sistemas de inovação podem ser analisados em outras três dimensões complementares como tecnológica, setorial e regional voltando-se, neste caso, para áreas geográficas específicas, tanto a nível supranacional, como subnacional (CARLSSON, 2006; LUNDVALL et al., 2002). Como assinalam Lundvall (1992, 1996) e Lundvall e Johnson (1994), o conhecimento tornou-se um bem estratégico e a aprendizagem um processo relevante, por isso os autores propuseram a economia de aprendizagem como alternativa à economia baseada no conhecimento.

A inovação entendida como processo social, sistêmico, localizado e enraizado culturalmente decorrente de múltiplos e contínuos processos de aprendizagem e envolve a participação ativa de vários agentes econômicos. Foi assim que regiões e *clusters* de aprendizagem passaram a ser percebidos como importantes elementos de influência sobre o desempenho inovativo, trazendo a dimensão territorial para o centro das análises econômicas nos anos 90 constituindo o conceito de Sistemas Regionais de Inovação (SRI).

Neste âmbito, destaca-se a contribuição seminal de Cooke (1992) e de Cooke et al. (1997) que definem os SRI como ordens coletivas baseadas em confiança, interações, intercâmbio de conhecimentos e cooperação. A aprendizagem é um elemento central dessa abordagem, devendo ser estimulada por institucionalidades e políticas ativas orientadas para a inovação. A aprendizagem interativa é permeada pelo ambiente institucional e imersão dos agentes. Trata-se da infraestrutura institucional, organizacional e tecnológica de suporte ao sistema de produção regional (COOKE et al., 1998).

Segundo Cooke et al. (1998), existem SRI com fraco potencial que são caracterizados por uma cultura competitiva, individualista e conservadora que interferem negativamente no capital

social ou de relacionamento. Do ponto de vista das políticas, a visão é centralizada e reativa, enquanto no nível das empresas, prevalecem estratégias reativas e adaptativas, além de relações de trabalho antagônicas que dificultam o foco no longo prazo. Contrariamente, existem SRI com potencial marcados por cultura cooperativa, associativismo, bem como disposição para a aprendizagem e a mudança.

Nos casos de SRI deste segundo tipo, as políticas são elaboradas a partir de lideranças consultivas, além de baseadas na delegação de autoridade e no monitoramento e avaliação de resultados que contribuem significativamente para que sua implementação seja bem sucedida. No nível microeconômico da atuação empresarial, a preocupação com a inovação é forte e nas relações de trabalho predominam a confiança e a cooperação, permitindo ações efetivas e consequentes no longo prazo.

Cooke e Wills (1999) destacam o papel do capital social e das redes formais e informais de relacionamentos, em especial visando a competitividade das Pequenas e Médias Empresas (PME). A circulação e o compartilhamento de conhecimentos são facilitados, tanto pela confiança e cultura regional e local, como pelo capital social. Tais interações são estimuladas pela proximidade geográfica, sobretudo quando os conhecimentos envolvidos são mais complexos e de natureza tácita e menos quando são pouco complexos e mais sujeitos à codificação. Além desta dimensão de análise, Boschma (2005) aponta as dimensões cognitiva, organizacional, social e institucional como facilitadoras dos transbordamentos de conhecimentos.

A dinâmica do SRI tem o território como base, ainda que ele se relacione a outros contextos como o nacional e o global (COOKE, 2001). E embora os processos de inovação e as vantagens competitivas se apoiem na proximidade geográfica entre os agentes econômicos, outras dimensões de proximidade vêm sendo estudadas, sendo crescente o interesse na dimensão tácita do conhecimento (GERTLER, 2003). Como mostram Asheim et al. (2011), diferentes bases de conhecimentos contêm distintas combinações de conhecimentos tácitos e codificados que exigem distintas qualificações, competências e estratégias, ao mesmo tempo em que envolvem distintos desafios para transformá-los em inovação e competitividade.

As relações entre redes de conhecimentos e proximidade são exploradas por Balland et al (2015) considerando, tanto sua dimensão geográfica, como as dimensões cognitiva, organizacional, social e institucional apontadas por Boschma (2005). Todas elas são susceptíveis de mudanças ao longo do tempo por intermédio de processos de aprendizagem, de dissociação de relações sociais de seus contextos originais, bem como de mecanismos de institucionalização, integração e aglomeração. As várias dimensões de proximidade e estes diferentes processos se influenciam mutuamente.

Vale destacar ainda a contribuição mais recente de Garcia et al. (2020) ao assinalarem o papel dos diferentes contextos sociais dos SRI. Eles citam a seguinte tipologia de SRI a partir da

circulação e do compartilhamento de conhecimentos: SRI adensados e diversificados; SRI organizacionalmente adensados e especializados; e SRI organizacionalmente rarefeitos. Os primeiros são comumente encontrados em regiões metropolitanas e grandes cidades em que a mobilidade de trabalhadores qualificados e os transbordamentos de conhecimentos são comuns.

Os SRI do segundo tipo são normalmente encontrados em regiões e locais com estruturas industriais especializadas e capacidades universitárias desenvolvidas, sendo usual a presença de *spin-offs* acadêmicos e de ICTI públicas e privadas. Os SRI de terceiro tipo, por sua vez, são normalmente encontrados em regiões periféricas onde o número de ICTI e de empresas é baixo, as condições de estímulo à inovação e à competitividade são precárias, em especial no que tange às indústrias baseadas em ciência nas quais predominam grandes empresas com trajetórias tecnológicas fortemente condicionadas por avanços científicos, a exemplo das indústrias eletrônica, farmacêutica e química.

Neste último caso, a baixa densidade organizacional configura um baixo grau de interações e de possibilidades de cooperação entre os agentes econômicos. Como afirmam Garcia et al. (2020), a geração de tecnologias e inovações é o resultado de processos endógenos de circulação e de compartilhamento de conhecimentos que são facilitados pela confiança, capital social e cultura regional e local que em geral mediadas pela proximidade geográfica e reforçada por outros tipos de proximidade, conforme já mencionado.

A ampla literatura sobre os SRI é sistematizada por Garcia et al. (2022) que assinalam o caráter empírico dos estudos e o fato de serem pouco comuns em países em desenvolvimento como o Brasil. Neste sentido, vale citar Matos et al. (2020) que investigam as boas práticas para o desenvolvimento de SRI no país consolidando os resultados obtidos em cinco categorias: orquestração; ambientes favoráveis à cooperação; recursos financeiros e estruturas legais; infraestrutura; e talentos.

A orquestração envolve o planejamento e a governança do SRI, enquanto os ambientes favoráveis à cooperação são característicos dos SRI potencialmente fortes, conforme assinalado por Cooke et al. (1998). A categoria recursos financeiros e estruturas legais abrange o arcabouço institucional e as estruturas de apoio e financiamento às empresas, enquanto a categoria infraestrutura envolve a infraestrutura física de suporte ao funcionamento do SRI. A quinta categoria denominada talentos constitui a base do SRI, correspondendo à presença de universidades de excelência e de capital humano qualificado.

Por fim, destaca-se o estudo empírico de Santos (2020) sobre o SIF que abrange diferentes realidades. Ainda que sua marca seja a concentração do dinamismo inovativo na indústria de Petróleo e Gás (P&G) e o protagonismo da região metropolitana em relação ao interior, a infraestrutura de C,T&I como um todo é densa e relativamente madura, embora a maioria das ICTI se concentrem na capital e na região metropolitana.

O autor considera a seguinte divisão em termos de SRI: (i) região metropolitana com estrutura organizacionalmente densa e diversificada, ainda que fragmentada; (ii) sul fluminense com estrutura organizacional relativamente densa, especializada e coesa; (iii) norte fluminense com estrutura organizacional pouco densa, especializada e fragmentada; (iv) e as regiões que englobam noroeste fluminense, centro fluminense e baixadas litorâneas que apresentam estrutura organizacional pouco densa, pouco diversificada e ainda fragmentada.

Quando comparada a tipologia de SRI mencionada por Garcia et al. (2020, 2022) às características identificadas por Santos (2020) em relação ao SIF, a mesorregião norte do estado apresenta uma configuração que se aproxima, por um lado, de um SRI de segundo tipo com estrutura industrial especializada em P&G, ainda que de maneira relativa e, por outro, de um SRI de terceiro tipo considerado rarefeito em razão do baixo número de ICTI relevantes e de grandes empresas, sobretudo estas últimas.

Neste sentido, este artigo se propõe a analisar as condições de inovação e de competitividade do SRI representado pelo norte fluminense por meio de um estudo de caso, conforme a metodologia relatada a seguir e o caso descrito na sequência que aborda a realidade da cidade de Campos dos Goytacazes em relação a tecnologias aplicadas, em especial aquelas voltadas para a indústria 4.0.

METODOLOGIA

Este artigo é o resultado de uma pesquisa de natureza empírica e qualitativa, voltando-se para a utilização prática de conhecimentos e sem preocupações de ordem estatística. Com finalidade descritiva, trata-se de uma pesquisa bibliográfica e documental complementada por pesquisa de campo. O método selecionado foi o estudo de caso abordando o processo de inovação mediado pela Embrapii em Campos dos Goytacazes, tendo sido para isso entrevistado o coordenador da Unidade de Tecnologias para Produção Mais Limpa da Embrapii do IFF no município.

A pesquisa de campo representando o Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG) do IFF foi feita por um dos autores deste artigo por meio de uma entrevista pessoal em profundidade por pautas ou temas a partir de um roteiro contendo perguntas abertas, de modo a deixar o entrevistado falar livremente, dada a sua larga experiência (GIL, 2021). A entrevista com aproximadamente uma hora de duração foi realizada remotamente por intermédio do aplicativo *google meet* e transcrita em linguagem coloquial para uso posterior.

Vale destacar que o entrevistado é atualmente professor titular do IFF Campos onde atua desde 1996, além de desempenhar a função de coordenador da Unidade Embrapii deste IFF desde 2016 o que permitiu, tanto a compreensão mais aprofundada do tema, como a captação de suas opiniões e percepções. Como assinala Yin (2015), os estudos de caso são caracterizados pela análise e encadeamento de múltiplas fontes de evidência, de modo a aumentar a confiabilidade e a qualidade de dados e informações da pesquisa.

A DIFUSÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NO NORTE FLUMINENSE: O CASO DO POLO DE INOVAÇÃO CAMPOS DOS GOYTACAZES

Como assinala Ferreira (2015), ainda que a construção do sistema brasileiro de inovação tenha sido tardia, esforços recentes vêm sendo feitos para a sua consolidação, tanto a nível nacional, como regional e local. Destaca-se nesta direção a criação da Embrapii como Organização Social (OS) em 2013 para apoiar a inovação no país ao realizar a mediação entre ICTI e empresas industriais. Na condição de OS, ela funciona por meio de contratos de gestão com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o Ministério da Economia (ME), o Ministério da Educação (MEC) e com o Ministério da Saúde (MS) (EMBRAPII, 2024a).

Mas como apenas 23,5% das empresas industriais no país são digitalizadas, fomentar a cooperação entre ICTI e empresas constitui importante contribuição da Embrapii, tanto a nível nacional, como regional e local, especialmente quando se leva em conta a missão de desenvolvimento da indústria 4.0 (BRASIL, 2024; PREDEBON, 2023). A sua estrutura de funcionamento é simples e enxuta, contando atualmente com um diretor-presidente, três diretores, além do conselho de administração e do conselho fiscal. As ICTI credenciadas têm flexibilidade para prospecção de novos negócios e alocação dos recursos recebidos, além do compromisso com os resultados obtidos pelas empresas parceiras.

A expectativa é de que estas últimas sejam atraídas pela forte base de conhecimento existente nas ICTI credenciadas e pela sua capacidade de geração de soluções tecnológicas potencializadas pelo mecanismo de compartilhamento de custos e de riscos oferecido pela Embrapii. Ela pode investir até um terço das despesas das unidades em projetos de P,D&I com empresas, enquanto o restante é dividido entre as próprias unidades e as empresas parceiras. O modelo de avaliação é baseado em aspectos técnicos, operacionais e financeiros após o primeiro ano de operação, em avaliações parciais a cada dois anos, bem como em um balanço geral do desempenho das ICTI (EMBRAPII, 2020, 2023).

Com mais de dez anos de existência, a Embrapii opera hoje por meio de 87 unidades credenciadas em todo o país nas áreas de biotecnologia, materiais e química, mecânica e manufatura, TIC e tecnologias aplicadas que englobam diversas competências tecnológicas. Além das várias competências na área de TIC que têm forte relação com a indústria 4.0, várias unidades participam de redes de inovação envolvendo o MCTI em temas correlatos como IA, transformação digital, além de outras que integram o Programa Prioritário IoT Manufatura 4.0 criado em 2018 e atualizado em 2022 (EMBRAPII, 2024a).

Embora haja unidades da Embrapii em todas as regiões, o Sudeste concentra 54% do total, com destaque para São Paulo (26), Minas Gerais (13) e Rio de Janeiro (8), não havendo unidades credenciadas no Espírito Santo. O Sul possui um total de 18 unidades em todos os estados, o que não ocorre no Norte nem no Nordeste. O Nordeste tem 14 unidades credenciadas, o Centro-Oeste possui seis unidades e o Norte apenas duas. Quanto aos temas relacionados à indústria 4.0, várias unidades se credenciaram para projetos na área de TIC e participam de redes de inovação envolvendo o MCTI.

Em relação ao ERJ, as oito unidades credenciadas pela Embrapii e suas respectivas áreas de atuação são apresentadas no Quadro 1 e refletem as características do SIF, tanto do ponto de vista das ICTI presentes no estado, como da demanda das indústrias nele localizadas como a de P&G que é proeminente. Contudo, elas também representam possibilidades de modernização tecnológica para as indústrias automobilística, de energia, de máquinas e equipamentos, metalúrgica, metalmecânica, naval, petroquímica e siderúrgica existentes no território (SANTOS, 2020).

No entanto, Santos (2020) mostra que a região metropolitana do ERJ é mais diversificada do que as demais, o sul fluminense é mais especializado e coeso, enquanto o norte fluminense tem pouca densidade industrial, sendo o noroeste, o centro e as baixadas litorâneas também regiões com pouca densidade industrial. Em relação ao norte fluminense que é o foco deste artigo, Reis (2023) e Reis e Ferreira (2024) analisam a disseminação de tecnologias 4.0 em empresas de bens de capital em Campos dos Goytacazes, enquanto Ferreira et al. (2024) destacam em relação à difusão dessas tecnologias o papel da Embrapii e da sua atuação no ERJ, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1: Unidades e Áreas de Atuação da Embrapii no Estado do Rio de Janeiro (ERJ)

COPPE (UFRJ)	Engenharia de Petróleo e Gás do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro / Cidade: Rio de Janeiro / Área: Tecnologias Aplicadas.
IDOR	Biotecnologia Médica do Instituto D'OR de Pesquisa e Ensino / Cidade: Rio de Janeiro / Área: Biotecnologia Médica.
INT	Química Industrial do Instituto Nacional de Tecnologia / Cidade: Rio de Janeiro / Área: Materiais e Química.
ISI (Biossintéticos)	Biossintéticos, Fibras e Intensificação de Processos Químicos do Instituto Senai de Inovação em Biossintéticos e Fibras / Cidade: Rio de Janeiro / Área: Materiais e Química.
ISI (Química Verde)	Tecnologias em Química Verde do Instituto Senai de Inovação em Química Verde / Cidade: Rio de Janeiro / Área: Materiais e Química.
PICG (IFF)	Tecnologias para Produção Mais Limpa do Pólo de Inovação Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense / Cidade: Campos dos Goytacazes / Área: Tecnologia Aplicadas.
PROMEXBIO (CETEM)	Metalurgia Extrativa, Biomineração e Biotecnologia Ambiental do Centro de Tecnologia Mineral / Cidade: Rio de Janeiro / Áreas: Otimização de Processos, Tratamento de Minérios e Resíduos e Mitigação de Impactos Ambientais da Indústria Extrativa.
TECGRAF (PUC-Rio)	Soluções Computacionais em Engenharia do Instituto de Desenvolvimento de Software Técnico-Científico da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro / Cidade: Rio de Janeiro / Área: Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) / Redes de Inteligência Artificial, de Transformação Digital e PPI IoT Manufatura 4.0.

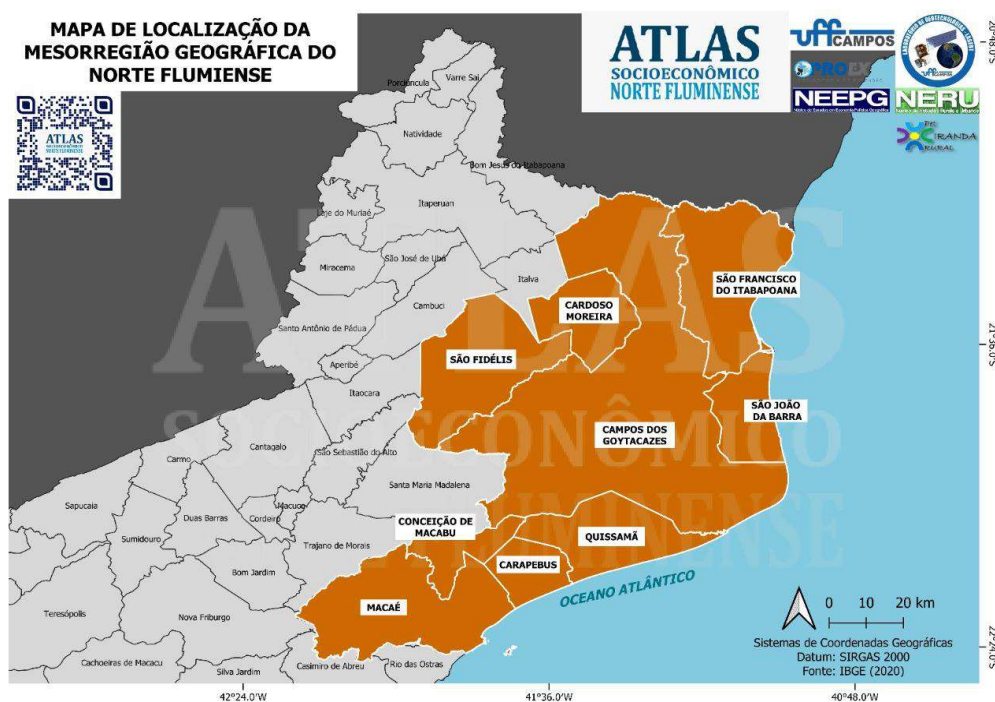
Fonte: Ferreira et al. (2024)

A robusta infraestrutura de universidades do ERJ é representada na Embrapii pela UFRJ, IFF e PUC-Rio, cabendo assinalar a importância do IFF por meio do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG) analisado neste artigo. Trata-se da única unidade credenciada da Embrapii

no ERJ com sede fora da cidade do Rio de Janeiro, ou seja, com a proposta de contemplar precipuamente as especificidades regionais. Como destacou o entrevistado, a Unidade de Pesquisa e Extensão Agroambiental (UPEA) foi inaugurada em 2007 no IFF Campos com foco nas comunidades locais envolvidas com a agricultura familiar, tendo sido incorporado em 2009 o Centro de Referência em Sistemas Embarcados e Aeroespaciais (CRSEA), embora tenha adquirido o *status* de PICG em 2015 ao tornar-se unidade credenciada pela Embrapii.

Um quadro geral do norte fluminense é oferecido por Reis (2023) ao mostrar sua constituição em nove municípios dentre os quais destacam-se Campos dos Goytacazes e Macaé que constituem sedes de suas respectivas microrregiões. Herdeiro de 400 anos de monocultura canavieira, o município de Campos que chegou a ser, na primeira metade do século XX, o segundo maior produtor de cana-de-açúcar do país, mantém até hoje a maior área de lavoura canavieira do ERJ.

Figura: Localização da Mesorregião do Norte Fluminense



Fonte: Reis (2023)

Como assinala o autor, a dependência do setor agrícola inibiu o desenvolvimento industrial de Campos que se deu a partir da agroindústria do açúcar e do álcool que, embora modernizada nos anos 1970, é restrita em termos tecnológicos e de geração de emprego. A indústria de cerâmica vermelha é outra atividade característica, além da fruticultura. Porém, a região do norte fluminense se notabilizou a partir dos anos 1980 pelas atividades vinculadas à indústria petrolífera com a instalação da Petrobras para exploração da Bacia de Campos em Macaé e, a partir de 2000, com a implantação do Porto do Açu em São João da Barra, onde se instalaram

diversas empresas de apoio *offshore* (navegação de apoio marítimo, combustíveis etc.) e de oferta de bens industriais (dutos rígidos e tubos flexíveis). O setor agrícola perdeu espaço para a indústria extrativa, em que pesem os impactos positivos sobre a estrutura educacional e a mão de obra local em razão das novas demandas.

Segundo Ribeiro e Hasenclever (2019), Santos (2020) e Santos et al. (2020), as grandes reservas da Bacia de Campos e a descoberta do pré-sal anunciada em 2007 atraíram grandes investimentos para a mesorregião norte, desafiando a capacidade de absorção deste fluxo no âmbito do território e de análise dos seus desdobramentos sobre a região como um todo. Conforme já assinalado por Piquet e Oliveira (2016), o capital produtivo no interior da indústria de P&G se concentrou em empresas estrangeiras, cabendo às nacionais o papel de fornecedoras e prestadoras de serviços de engenharia, alguma produção mecânica e serviços de menor valor tecnológico.

Segundo Marcellino et al. (2020), embora a especialização produtiva na indústria de P&G tenha grande potencial de promover o desenvolvimento regional, ela vem se configurando mais como um enclave ou maldição devido aos poucos encadeamentos produtivos e transbordamentos que é capaz de gerar para a economia regional (CAVALIERI & HASENCLEVER, 2019; FERREIRA & MENDES, 2023). Como haviam apontado Pessanha et al. (2015), o que se observa é a incapacidade política e também técnica do Estado nos diferentes níveis federativos de ampliar a participação na produção expandindo, assim, a captura de valor. Além disso, verifica-se a debilidade ou mesmo a ausência de fornecedores locais capazes de atender à demanda dessas empresas. As conexões das empresas da indústria de P&G são menos complexas e de baixa intensidade tecnológica na região.

Neste sentido, tanto a atuação da Embrapii no ERJ, mas especialmente no norte fluminense, vem se tornando fundamental. Como afirma Predebon (2023), trata-se de um modelo promissor de promoção da inovação que agrega maior dinamismo ao sistema brasileiro de inovação, projetando-se também regionalmente. Ao estabelecer parcerias estratégicas entre ICTI e empresas, a Embrapii facilita o acesso destas últimas a recursos financeiros, infraestrutura de pesquisa e *expertise* técnica fortalecendo, tanto o sistema nacional, como os sistemas regionais e locais de inovação.

Tal como a Coppe da UFRJ, o PICG do IFF foi credenciado pela Embrapii na área de tecnologias aplicadas, dirigindo-se a primeira para o campo da engenharia de P&G, enquanto o segundo voltou-se para as tecnologias de produção mais limpa, contemplando as seguintes subáreas: eficiência energética e fontes renováveis de energia; redução, tratamento e reaproveitamento de resíduos; e uso racional de recursos hídricos. O Polo atua por meio de diversos laboratórios tais como: Monitoramento de Águas (LabFoz); Hidrologia (LabHidra); Biocombustíveis e Tratamento de Resíduos (LaBio); Energia Fotovoltáica e Eficiência Energética (LabFV); Mecânica (LabMec); e Criação e Prototipagem (CriaLab) (EMBRAPII, 2024a). Como mostram Reis (2023) e Reis e Ferreira (2024), dentre as Instituições de Ensino Superior (IES) presentes em Campos, o IFF é a que apresenta maior número de docentes com mestrado e doutorado.

De acordo com informações da Embrapii ratificadas pelo entrevistado, o CRSEA inaugurado em 2009 tornou-se um laboratório relevante ao aglutinar quatro laboratórios: Robótica (LabRo), Telecomunicações (LabTele), Computação Científica (LC3) e Eletrônica, Instrumentação e Automação (LEIA). Além da infraestrutura laboratorial do PICG, o entrevistado destacou a importância de alunos e servidores que participam como bolsistas e pesquisadores em diversos projetos a partir de editais. Ele informou que desde 2016, o Polo vem apoiando cerca de 55 empresas em 46 projetos de inovação desenvolvidos em grande parte com pequenas empresas e *start-ups*.

Em relação às tecnologias associadas à indústria 4.0, o entrevistado afirmou que “elas fazem parte do dia-a-dia do Polo” e têm grande potencial de difusão em Campos e no norte fluminense, sobretudo aquelas ligadas à indústria de P&G. Outras tecnologias citadas foram aquelas ligadas à agroindústria, ao meio ambiente e à IA, o que é coerente com a *expertise* do PICG em buscar soluções voltadas para eficiência energética, fontes alternativas e renováveis de energia, tratamento e reaproveitamento de resíduos e otimização de recursos hídricos. Em relação à IA, o desenvolvimento de dispositivos e *softwares* faz parte da vivência dos pesquisadores, sobretudo aqueles vinculados ao CRSEA que incluem o próprio entrevistado.

Atualmente existem 42 projetos de inovação em andamento no Polo junto a empresas parceiras relacionados a tecnologias aplicadas com ênfase em produção mais limpa (EMBRAPII, 2024b). No âmbito da indústria 4.0 e à título ilustrativo, foram selecionados oito projetos que correspondem a aproximadamente 20% do total de projetos, conforme é apresentado no Quadro 2. Eles abrangem produtos novos ou significativamente melhorados, bem como novos processos produtivos. Como a inovação é um processo que envolve incertezas, riscos, custos e com frequência longo tempo de maturação, a Embrapii tem papel significativo ao promover e financiar a inovação em Campos dos Goytacazes e demais municípios que compõem a mesorregião do norte fluminense.

Vale acrescentar que a Embrapii oferece a microempreendedores individuais, pequenos empreendedores e *start-ups* o Lab2MKT, programa voltado para o acompanhamento de todo o ciclo de desenvolvimento de produtos até sua chegada ao mercado por meio de parceira com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae). O Lab2MKT apoia projetos com recursos não reembolsáveis em três modalidades: desenvolvimento tecnológico, voltado para uma única *start-up* ou pequena empresa; encadeamento tecnológico, incluindo também uma média ou grande empresa; e aglomeração tecnológica, abrangendo várias *start-ups*, pequenas empresas e uma unidade da Embrapii. Estas opções facilitam as conexões entre empresas de portes diferentes, contribuindo para o crescimento de seus negócios.

Quadro 2: Projetos de Inovação em Andamento no PICG Relacionados à Indústria 4.0

Tipo de Inovação	Projeto	Descrição
Produto	Dispositivo Autônomo Vestível para Monitoramento Contínuo de Sinais Vitais com Otimização do Consumo de Energia.	Projeto de sistema de otimização do consumo de energia e prototipagem de dispositivo autônomo vestível para monitoramento contínuo de sinais vitais de trabalhadores em condições de risco com tal sistema embarcado.
Produto	Sistema de Alimentação de Energia para Robô Submarino de Inspeção do tipo ROV.	Desenvolvimento e teste de bancada de protótipo de sistema de alimentação de energia de ROV.
Produto e Processo	Dispositivo de Controle de Qualidade de Solda com Uso de IA e Introdução à Computação Quântica.	Desenvolvimento de <i>software</i> para indicação e classificação de padrões de solda a partir de parâmetros de processo como corrente, imagem, ruído e tensão para identificação de falhas / Treinamento de IA com dados recebidos e processados por meio de Vídeo Analytics / Implementação do <i>software</i> em arquitetura de computação quântica e de algoritmo de otimização de rota de pontos de solda em processo de cladeamento e em computação quântica.
Produto e Processo	Equipamento de Vídeo-Inspeção Robotizada de Dutos.	Desenvolvimento de protótipo de dispositivo robotizado e componentes acessórios de inspeção de dutos para manutenção preditiva e corretiva de sistemas de escoamento de efluentes industriais, esgoto sanitário, águas pluviais e água potável.
Produto e Processo	Aprimoramento de Equipamento de Vídeo-Inspeção Robotizada de Dutos com Integração e Processamento de Imagens.	Projeto de ciclo 2 com melhorias e aprimoramentos em equipamentos de robótica de inspeção de dutos com adequação do robô seus módulos frente às exigências do ambiente real de inspeção de dutos.
Produto e Processo	Desenvolvimento de Dispositivo IOT para Soldagem Industrial.	Desenvolvimento de dispositivo de aquisição de dados relacionados ao processo de soldagem industrial capaz de disponibilizar dados adquiridos em nuvem para geração de análises, estatísticas e perfis do processo de solda e de possíveis intervenções de manutenção no equipamento.
Produto e Processo	Desenvolvimento de Sistema Inteligente para Logística Reversa de Óleo de Cozinha.	Desenvolvimento de protótipo e sistema de instrumentação e automação conectados à nuvem.
Produto e Processo	Sistema de Aproveitamento da Água Pluvial para Fins não Potáveis com Uso de Tecnologias de IOT.	Aprimoramento, desenvolvimento e implementação de sistema de aproveitamento de água pluvial não potável com uso de tecnologias de comando, registro e monitoramento remoto para minimização de demandas de escassez hídrica.

Fonte: Elaboração dos Autores a Partir de Embrapii (2024b).

Vale acrescentar também que como coordenadora do Programa Prioritário intitulado P&D para Mobilidade e Logística do Rota 2030 que inclui empresas beneficiadas pelo Regime de Autopeças não produzidas que têm direito à isenção fiscal, a Embrapii apoia a cadeia de fornecedores da indústria automotiva que se encontra presente no sul fluminense. (EMBRAPII, 2024a; SANTOS, 2020). No âmbito deste Programa, o PICG assinou em 2021 com a Morumbi Industrial Ltda que atua em Campos o projeto de um sistema anti-tombamento para operação de descarregamento de resíduos sólidos. Esta empresa industrial familiar que há mais de 45 anos atua no segmento de implementos rodoviários, unidades móveis e metal mecânica tem clientes em todo o país (IFF, 2024; REIS, 2023; REIS & FERREIRA, 2024).

Outro aspecto do Polo que merece destaque é a premiação obtida em 2023 por ocasião da comemoração dos dez anos da Embrapii. O prêmio contou com seis categorias dentre as quais Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) na qual o PICG foi vencedor (EMBRAPII, 2024a). Como ressaltou o entrevistado, ser reconhecida nesta categoria dentre todas as unidades da Embrapii é motivo de satisfação e orgulho para o PICG e o IFF. Entre os vários projetos do Polo associados aos ODS, ele citou o de sistema inteligente para logística reversa de óleo de cozinha que envolveu, tanto o protótipo, como o sistema de instrumentação e automação, ambos conectados à nuvem, como foi apresentado no Quadro 2.

Outro projeto de produto e processo associado à logística reversa diz respeito ao desenvolvimento de protótipo de sistema automatizado de monitoramento, instrumentação e controle de coleta de embalagens que são eminentemente resíduos (Embrapii, 2024b). A demanda de logística reversa foi feita por Barcelos & Cia Ltda., empresa de comércio atacadista de cereais e leguminosas beneficiados que atua em Campos pertencente ao Grupo Barcelos. Este é mais um exemplo de atendimento às necessidades de empresas que atuam regionalmente e foram apoiadas pelo PICG por intermédio da Embrapii.

Em relação a tecnologias 4.0 aplicadas à indústria de P&G, o desenvolvimento e posterior aprimoramento de dispositivo robotizado e acessórios de inspeção de dutos constitui exemplo. O robô sofreu adequação de seus módulos frente aos requisitos do ambiente real de inspeção de dutos (EMBRAPII, 2024b). Conforme assinalado por Garcia et al. (2020), esta indústria configura certa especialização do SRI do norte fluminense, em que pese a baixa densidade de empresas de grande porte na região. No entanto, a atuação do PICG por meio da Embrapii vem representando novas oportunidades de circulação e de compartilhamento de conhecimentos, conforme destacado na revisão da literatura.

De fato, tais oportunidades vêm sendo oferecidas pelo PICG a microempreendedores individuais, pequenos empreendedores e *start-ups* para estimular o desenvolvimento e o encadeamento tecnológico no norte fluminense. Contudo, a aglomeração tecnológica em torno da indústria de P&G na região deve ser capaz de promover maior encadeamento e participação das empresas nacionais frente às estrangeiras (PIQUET & OLIVEIRA, 2016). É preciso superar a armadilha da petrodependência e transformar a indústria de P&G em oportunidade de desenvolvimento econômico regional (FERREIRA & MENDES, 2023)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o rápido desenvolvimento e difusão de tendências da indústria 4.0, o Brasil se insere novamente mais como um comprador do que como um desenvolvedor da nova revolução tecnológica, tornando-se caudatário do paradigma tecno-econômico que caracteriza a atual revolução. Também se mantém a característica de heterogeneidade estrutural do sistema produtivo, pois as empresas se encontram defasadas para aderir às novas tendências da Indústria 4.0 considerando que sequer conseguiram incorporar a automação e a microeletrônica da terceira revolução industrial.

Essas características estão presentes em Campos dos Goytacazes, município de referência da região norte fluminense do ERJ cuja ocupação remonta à colonização. Mesmo tendo conhecido três grandes períodos de modernização, a dos engenhos de açúcar, a das usinas a vapor e a da expansão da indústria de P&G, este centro de referência regional tem uma base industrial marcada pela concentração de atividades com baixo dinamismo tecnológico que inclui as atividades vinculadas às indústrias de alimentos e de cerâmica vermelha, além da indústria moveleira. A indústria de P&G não se desenvolveu no município que se tornou mais propriamente uma economia dos *royalties*, posto que depende das transferências de renda decorrentes das atividades de exploração petrolífera *offshore*.

Não obstante, por ser um importante centro regional, Campos dos Goytacazes possui uma estrutura universitária com cursos de graduação e de pós-graduação, especialmente em áreas de formação tecnológica que são a base para o desenvolvimento das tecnologias facilitadoras da indústria 4.0. Não por acaso, o IFF teve o seu credenciamento aceito pela Embrapii a partir do edital de 2015, transformando-se no único polo da Embrapii no interior do ERJ. Esta instituição oferece graduação, pós-graduação e formação técnica de longa tradição na região, além dos vínculos com a estrutura produtiva regional.

Dos 42 projetos desenvolvidos no PICG, oito envolvem tecnologias associadas à indústria 4.0. Neste sentido, três aspectos merecem atenção: i) o foco dos projetos em eficiência energética, fontes alternativas e renováveis de energia, tratamento e reaproveitamento de resíduos e otimização de recursos hídricos; ii) a prevalência de projetos de IA e de robótica para as atividades *offshore* envolvendo trabalho embarcado, soldagem e dutos, o que indica certa ancoragem e estímulo ao desenvolvimento de tecnologias na região; e liii) as parcerias com capitais locais de bens de capital (implementos rodoviários e semirreboques) e de comércio atacadista de distribuição alimentícia (supermercado).

Como mostrou a revisão da literatura, estimular a cooperação entre ICTI e empresas é uma importante contribuição da Embrapii a nível nacional, regional e local, especialmente quando se considera a missão de desenvolvimento da indústria 4.0 prevista na nova política industrial brasileira. Em relação a pesquisas futuras, ampliar o trabalho de campo de modo a incluir entrevistas na Embrapii e no PICG com os gerentes dos projetos indicados pode ser um caminho interessante para melhorar o entendimento sobre a difusão de tecnologias 4.0 no norte fluminense. A pesquisa pode ainda ser estendida a outras regiões do ERJ e do país.

REFERÊNCIAS

- ARBIX, G.; SALERNO, M. S.; ZANCUL, E.; AMARAL, G. & LINS, L. M. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos Estudos Cebrap**, v. 36, n. 3, p. 29-49, 2017.
- ASHEIM, B. T.; BOSCHMA, R. & COOKE, D. Constructing regional advantage: platform policies based on related variety and differentiated knowledge bases. **Regional Studies**, v. 45, n. 7, 893-904, 2011.
- BALLAND, P. A.; BOSCHMA, R. & FRENKEN, K. Proximity and innovation: from statics to dynamics. **Regional Studies**, v. 49, n. 6, p. 907-920, 2015.
- BOSCHMA, R. Proximity and innovation: a critical assessment. **Regional Studies**, v. 39, n. 1, p. 61-74, 2005.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS. **Nova Indústria Brasil: Forte, Transformadora e Sustentável : Plano de Ação para a Neoindustrialização 2024-2026**. Brasília : MDIC, CNDI, 2024.
- BRITTO, J. N. P. Cooperação para inovação. In: RAPINI, M. S.; RUFFONI, J.; SILVA, L. A. & ALBUQUERQUE, E. M. (Orgs.). **Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global**. Belo Horizonte : Cedeplar, 2021, p. 206-231.
- CAPELLO R.; LAFFI M. & LENZI C. Trend spaziali nella creazione di tecnologie 4.0: nuove isole di innovazione creativa nelle regioni europee. In: BRANDANO, M. G.; FAGGIAN, A. & URSO, G. (Org.). **Oltre le crisi. Rinnovamento, ricostruzione e sviluppo dei territori**. Milano: Franco Angeli, 2020.
- CARLSSON, B. Internationalization of innovation systems: a survey of the literature. **Research Policy**, v. 35, n. 1, p. 56-67, 2006.
- CAVALCANTE, A.; RAPINI, M. S. & LEONEL, S. G. Financiamento da inovação: uma proposta de articulação entre as abordagens pós-keynesiana e neo-shumpeteriana. In: RAPINI, M. S.; RUFFONI, J.; SILVA, L. A. & ALBUQUERQUE, E. M. (Orgs.). **Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global**. Belo Horizonte : Cedeplar, 2021, p. 295-320.
- CAVALIERI, H. & HASENCLEVER, L. Especialização produtiva: reflexos sobre o desenvolvimento do estado do Rio de Janeiro. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, n. 16, p. 11-25, 2019.
- COOKE, P. Regional Innovation Systems: competitive regulation in the new Europe. **Geoforum**, v. 23, n. 3, 365-382, 1992.

COOKE, P. Regional Innovation Systems, clusters and knowledge economy. **Industrial and Corporate Change**, v. 10, n. 4, p. 945-974, 2001.

COOKE, P. & WILLS, D. Small firms, social capital and the enhancement of business performance through innovation programmes. **Small Business and Economics**, v. 13, n. 3, p. 219-234, 1999.

COOKE, P.; URANGA, M. G. & ETXEBARRIA, G. Regional Innovation Systems: institutional and organisational dimensions. **Research Policy**, v. 26, n. 4-5, p. 475-491, 1997.

COOKE, P.; URANGA, M. G. & ETXEBARRIA, G. Regional Systems of Innovation: an evolutionary perspective. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 30, n. 9, p. 1563-1584, 1998.

CROCCO, F. L. T. O Brasil na reestruturação produtiva da manufatura avançada: políticas, ações e desafios. **Cadernos do CEAS: Revista Crítica de Humanidades**, v. 47, n. 257, p. 576-600, 2022.

EMBRAPII (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL). **Manual de Operação Embrapii**. [Manual]. Embrapii, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

EMBRAPII (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL). **Relatório Anual de Execução Exercício 2023**. (Relatório). Embrapii, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2023.

EMBRAPII (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL). **Institucional. Áreas de Atuação. Competências Tecnológicas. Unidades Embrapii. 10 Anos Embrapii. Mobilidade e Logística Rota 2030. Start-ups e Pequenas Empresas**. Disponível em: <<https://embrapii.org.br>>. Acesso em: 05 nov. 2024a.

EMBRAPII (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL). **Lista de Projetos Embrapii**. [Projetos]. Embrapii, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2024b.

FERREIRA, M. L. A. (2015). **Formação e capacitação em engenharia no setor de petróleo: a cooperação entre ANP, Petrobras e universidades do estado do Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, IE/UFRJ, RJ, 2015.

FERREIRA, M. L. A. & MENDES, H. S. Rio de Janeiro e petrodependência: maldição ou oportunidade de desenvolvimento econômico? **Boletim Petróleo, Royalties e Região**, Ano XIX, v. 22, n. 74, p. 1-21, 2023.

FERREIRA, M. L. A.; SANTOS, L. B. & MENDES, H. S. A disseminação das tendências da indústria 4.0 e a atuação da Embrapii no Rio de Janeiro. In: I Seminário de Estudos sobre o Estado do Rio de Janeiro / III Seminário de Economia Fluminense. (I SEERJ / III SEF). **Anais...** Rio de Janeiro : FRIPERJ : UFRRJ, 2024, v. 1, p. 1-5.

FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. London : Pinter Publishers, 1987.

FREEMAN, C. Japan: a new national system of innovation. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R. R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (Eds.). **Technical Change and Economic Theory**. London : Pinter Publishers, 1988. p. 330-348.

FREEMAN, C. The National System of Innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v. 19, n. 1, p. 5-24, 1995.

GARCIA, R.; SERRA, M.; MASCARINI, S.; BASTOS, L. S. & MACEDO, R. **Sistemas Regionais de Inovação: fundamentos conceituais, aplicações empíricas, agenda de pesquisa e implicações de políticas**. [Texto para Discussão N° 394]. Instituto de Economia : Unicamp, 2020.

GARCIA, R.; SERRA, M. A.; MASCARINI, S.; BASTOS, L. S. & MACEDO, R. Revisitando os Sistemas Regionais de Inovação: teoria, prática, políticas e agenda para o Brasil. **Nova Economia**, v. 32, n. 3, p. 617-645, 2022.

GERTLER, M. S. Tacit knowledge and the economic geography of context, or The undefinable tacitness of being (there). **Journal of Economic Geography**, v. 3, n. 1, p. 75-99, 2003.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2021.

IFF (INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE). **Polo de Inovação Campos dos Goytacazes**. Disponível em: <portal1.iff.edu.br>. Acesso em: 28 nov. 2024.

LUCENA, F. A.; ROSELINO, J. E. & DIEGUES, A. C. A indústria 4.0: uma análise comparativa entre as experiências da Alemanha, EUA, China, Coréia do Sul e Japão. **Geosul**, v. 35, n. 75, p. 113-138, 2020.

LUNDVALL, B. A. **Product innovation and user-producer interaction**. Aalborg University Press, Denmark, 1985.

LUNDVALL, B. A. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R. R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (Eds.). **Technical change and economic theory**. London : Pinter Publishers, 1988. p. 349-369.

LUNDVALL, B. A. **National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning**. Pinter, London, 1992.

LUNDVALL, B. A. **The social dimension of the learning economy**. [Working Paper, n° 96-01]. Danish Research Unit for Industrial Dynamics (DRUID). Aalborg : Denmark, 1996.

LUNDVALL, B. A. & JOHNSON, B. The learning economy. **Journal of Industry Studies**, v. 1, n. 2, p. 23-42, 1994.

LUNDVALL, B. A.; JOHNSON, B.; ANDERSEN, E. S. & DALUM, B. National systems of production, innovation and competence building. **Research Policy**, v. 31, n. 2, p. 213-231, 2002.

MARCELLINO, I. S.; VEIGA, L.; RABELO, H. & FALCÃO, M. **O potencial representado pelo Sistema Produtivo de Petróleo e Gás no Rio de Janeiro e implicações para o desenvolvimento regional**. [Nota Técnica 01]. Alerj, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

MATOS, G. P.; SOUZA, R. K.; PIQUET, J. M. & TEIXEIRA, C. S. Boas práticas e sugestões para o desenvolvimento de ecossistemas regionais de inovação. In: V Conferência de Planejamento Regional e Urbano (Livro de Atas). **Anais...** Aveiro : Universidade de Aveiro, 2021, v. 1, p. 21-28.

MAZZUCATO, M. **O Estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público versus o setor privado**. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

NELSON, R. R. Capitalism as an engine of progress. **Research Policy**, v. 19, n. 3, p. 193-214, 1990.

NELSON, R. R. National Innovation Systems: a retrospective on a study. **Industrial and Corporate Change**, v. 1, n. 2, p. 347-374, 1992.

NELSON, R. R. (Ed.). **National innovation systems: a comparative analysis**. New York : Oxford University Press, 1993.

PÉREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. **Cambridge Journal of Economics**, v. 34, n. 1, p. 185-202, 2010.

PESSANHA, R. M. **Economia do petróleo, embora vinculada, é diversa da economia dos royalties: diante do peso dos royalties e da crise de preço do petróleo, mais que nunca é preciso construir saídas!** Blog do Roberto Moraes. 04 mar. 2015. Disponível em: <<http://www.robertomoraes.com.br/2015/03/economia-do-petroleo-embora-vinculada-e.html>>. Acesso em: 28 fev. 2023.

PIQUET, R. & OLIVEIRA, C. A presença de empresas transnacionais no Norte Fluminense. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, n.9, p. 39-47, 2016.

PREDEBON, T. M. **Embrapii: um promissor modelo de apoio à inovação**. Dissertação de Mestrado em Economia, UNB, Brasília, DF, 2023.

REIS, T. C. **Digitalização da produção industrial em Campos dos Goytacazes-RJ: disseminação das tecnologias 4.0 no setor de bens de capital.** Monografia de Licenciatura em Geografia. Departamento de Geografia/UFF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

REIS, T. C. & FERREIRA, M. L. A. Disseminação de tecnologias 4.0 no setor de bens de capital em Campos dos Goytacazes. In: V Simpósio Internacional de Geografia do Conhecimento e da Inovação (V SIGCI). **Anais...** Florianópolis : UFSC, 2024, v. 1, p. 521-532.

RIBEIRO, A. C. & HASENCLEVER, L. Investigação sobre a capacidade de absorção de externalidades positivas geradas por grandes projetos no estado do Rio de Janeiro. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 50, n. 2, p. 133-145, 2019.

SANTOS, G. O. **Caminhos para a construção de uma nova estratégia de desenvolvimento: uma abordagem evolucionária do Sistema Regional de Inovação do estado do Rio de Janeiro.** Tese de Doutorado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, IE/UFRJ, RJ, 2020.

SANTOS, L. B. & CLAUDIO, G. O. O papel da Finep na disseminação das tendências da indústria 4.0 no território brasileiro. In: V Simpósio Internacional de Geografia do Conhecimento e da Inovação (V SIGCI). **Anais...** Florianópolis : UFSC, 2024, v. 1, p. 553-571.

SANTOS, L. B.; FERREIRA, M. L. A. & MENDES, H. S. Políticas e dinâmica recentes da indústria petrolífera no estado do Rio de Janeiro. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, n. 19, p. 43-69, 2020.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial.** São Paulo : Edipro, 2016.

SOLTOVSKI, R.; RESENDE, L. M. M.; PONTES, J.; YOSHINO, R. T. & SILVA, L. B. P. Um estudo quantitativo sobre os riscos da indústria 4.0 no contexto industrial: uma revisão sistemática da literatura. **Gestão e Desenvolvimento**, v. 17, n. 13, p. 165-191, 2020.

SZAPIRO, M.; MATOS, M. G. P. & CASSIOLATO, J. E. Sistemas de inovação e desenvolvimento. In: RAPINI, M. S.; RUFFONI, J.; SILVA, L. A. & ALBUQUERQUE, E. M. (Orgs.). **Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global.** Belo Horizonte : Cedeplar, 2021, p. 323-349.

TIGRE, P. B. **Gestão da inovação: uma abordagem estratégica, organizacional e de gestão de conhecimento.** 3. ed. Rio de Janeiro : Elsevier, 2019.

TORRACA, J.; FERRAZ, J. C.; BRITTO, J. & URRACA-RUIZ, A. Digital heterogeneities in developing countries: a comparative analysis. **Revista Brasileira de Inovação**, n. 22, e023013, p. 1-35, 2023.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021. Processo 422002/2021-6.