

Uma metodologia de análise de portfólio e *foresight* para políticas de inovação

Eduardo do Couto e Silva¹, Richard Silberglitt², Lucas Chieregatti Machado³,
Jackson Max Furtunato Maia⁴ e Cristiano Hugo Cagnin⁵

Resumo

Este artigo descreve um novo método para combinar *foresight* de inovação, índices de inovação de um país e análise de decisão para avaliar prioridades em portfólios de investimentos, com vistas a melhorar sistemas nacionais de inovação, usando o Brasil como exemplo. Esses resultados serão usados em um estudo de *foresight*, em andamento no CGEE,

Abstract

This paper describes a new method for combining innovation foresight, country's innovation indices, and decision analysis to identify the best combination of investments to improve national innovation systems, using Brazil as the example. These results will be used for an on-going CGEE foresight study aimed at improving the national

- 1 Ph.D. em Física. Foi pesquisador do SLAC National Accelerator Laboratory, CA, EUA; Chefe de Departamento de Pesquisa do Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Stanford University, CA; vice-diretor do Centro de Operações Científicas do telescópio principal do Observatório Fermi da NASA; e assessor do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Atualmente, é assessor sênior para assuntos internacionais do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).
- 2 Formado em Física, com doutorado em Física do Estado Sólido pela Universidade da Pensilvânia (EUA). Tem trabalhado na academia, no governo e no setor privado, por mais de 40 anos, com avaliação, gestão de pesquisa e *Foresight* em áreas de tecnologia avançada. Lecionou tecnologias emergentes nos Estados Unidos e na Ásia; foi presidente do Conselho Consultivo Internacional do Centro de Tecnologia da APEC *Foresight*, em Bangkok, Tailândia. Atualmente, é Cientista Sênior da Rand Corporation em Washington-DC, EUA.
- 3 Estudante de Ciências Econômicas na Universidade de Brasília (UnB) e estagiário do CGEE de 2013 a 2015.
- 4 Analista em Ciência e Tecnologia Sênior do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e assessor do CGEE. Foi coordenador técnico da Coordenação de Apoio à Pesquisa, Desenvolvimento e Aplicações (COAPD) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Agência Espacial Brasileira (AEB). É doutor em Ciências (Física) pela Universidade de São Paulo.
- 5 Assessor do CGEE, com PhD pela Universidade de Manchester, Reino Unido, bem como mestrado e graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atua nas áreas de inovação, estudos de futuro (*foresight*) e sustentabilidade, com vasta experiência em projetos nacionais e internacionais no âmbito da Comissão Europeia e de parcerias com instituições como Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (Unido), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA/UNEP) e Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

que almeja melhorar o ecossistema nacional de inovação no Brasil. Os subpilares do critério “fatores humanos para inovação”, do *Global Innovation Index* (CORNELL UNIVERSITY, INSEAD e WIPO, 2014), são utilizados com a finalidade de desenvolver uma matriz de cobertura de *gaps*, que é analisada usando o método PortMan (CHOW *et al.*, 2011), para identificar um portfólio ótimo de investimentos, levando em consideração o nível de investimento de cada programa e qualquer inter-relação entre eles. A metodologia proverá subsídios a um estudo de *foresight* que deverá gerar valores limites para os *gaps* e descrever sua importância relativa. Isso fornecerá um guia explícito e quantitativo para os tomadores de decisão na implementação dos resultados de *foresight*. As implicações do método para as práticas de Future Oriented Technology Assessment (FTA) são também discutidas.

Palavras-chave: Inovação. Otimização de portfólio. *Foresight*.

ecosystem for innovation in Brazil. The sub-pillars for human factors for innovation of the Global Innovation Index (GII) (Cornell University, INSEAD and WIPO, 2014), are used to develop a gap coverage matrix that is analyzed using the PortMan method (Chow et al 2011), to enable the identification of an optimum portfolio of investments, taking into account the level of funding for each program and any interrelationships between them. The methodology will provide inputs to a foresight study that should generate threshold values for the gaps and describe their relative importance. This will provide an explicit and quantitative guide to decision-makers in the implementation of the foresight results. The implications of the method for Future-Oriented Technology Assessment (FTA) practice are discussed.

Keywords: Innovation. Portfolio optimization. *Foresight*.

1. Introdução

Por muitos anos, o *foresight* de inovação (GEORGHIOU, 2007) tem sido um exercício tipicamente circunscrito às áreas de avaliação de tecnologias. Entretanto, o *foresight* se desenvolveu além dos cenários voltados à tecnologia. Mais recentemente, seu foco mudou de alvos econômicos e tecnológicos para um entendimento profundo das maneiras pelas quais se pode operar e interagir em sistemas conhecidos e desconhecidos (MILLER, 2007-2011; LOVERIDGE, 2009). Assim, discussões orientadas ao futuro têm sido baseadas em remodelá-lo para, coletivamente, identificar e criar premissas antecipatórias e fazer escolhas para o presente (MILLER, 2007-2011).

São muitos os desafios na tentativa de caracterizar os ecossistemas de inovação. (CAGNIN *et al.*, 2012) destacaram as contribuições que a o campo da *Future-Oriented Technology Analysis* (FTA) poderia trazer para orientar os sistemas de inovação a grandes desafios, considerando aspectos estruturais e funcionais de uma abordagem de ‘sistemas de inovação’. Isso tem sido o ponto de partida para um exercício de *foresight*, em andamento no CGEE, que almeja o entendimento das dinâmicas do ecossistema de inovação brasileiro e seus indicadores associados. Neste artigo, propomos uma metodologia que fornecerá subsídios para o *foresight* em inovação, a fim de tratar deficiências no ecossistema de inovação brasileiro como um estudo de caso.

O *Global Innovation Index* (GII) considera o desempenho de uma ampla gama de países em sete áreas (“pilares”) críticas para a construção, manutenção e o fortalecimento dos ecossistemas nacionais de inovação. Neste artigo, descrevemos e executamos um exemplo de aplicação de uma metodologia que otimiza um portfólio de investimentos para abordar deficiências de um país em pilares específicos do GII e seus 81 subpilares. O exemplo de aplicação emprega o critério “Fator Humano na Inovação” do GII, para o qual aplicamos nosso método a nove subpilares no Brasil. O portfólio de investimento que consideramos é restrito a 15 programas do Ministério da Educação, para os quais pudemos obter dados suficientes para a análise. Portanto, o portfólio que identificamos no nosso exercício é otimizado somente dentro desses possíveis investimentos e não inclui outros programas igualmente importantes de agências federais, estaduais e locais, mesmo aqueles do Ministério da Educação para os quais não tínhamos dados suficientes para análise. Dada sua incompletude, apresentamos esses resultados somente como uma ilustração do método e não como um subsídio a decisões de investimento.

Para um país visando melhorar seu *ranking* no GII, sua posição em cada pilar e subpilar ilustra as deficiências que precisam ser tratadas no seu ecossistema de inovação. Tratamos essas deficiências, em nosso método, como “*gaps*” a serem preenchidos por um portfólio de investimento e desenvolvemos uma matriz de oferta-demanda, na qual “oferta” representa os investimentos ou programas que visam à melhoria do ecossistema de inovação e os *gaps* representam a “demanda”. Mostramos, então, como obter o valor esperado de cada investimento ou programa para tratar cada *gap*. Usamos, ainda, essa matriz do valor esperado, as estimativas de custo para cada programa e o número de indivíduos que este beneficia para achar um portfólio ótimo para um dado investimento, isto é, o portfólio de investimento que contém o maior valor esperado por indivíduo beneficiado. *Gaps* podem ser estimados tanto em relação a algum objetivo específico quanto para o melhor valor alcançado por outro país.

O ecossistema de inovação de cada país, independente de seu *ranking* no GII, terá suas próprias características, com suas deficiências específicas a serem tratadas. O exercício de *foresight*, levando em consideração o atual estado de inovação e as aspirações do país, é necessário para entender se o preenchimento dos *gaps*, definidos em termos de deficiências dos pilares e subpilares do GII, será suficiente para alcançar tais aspirações. Tal *foresight* pode também ajudar na ponderação do que constitui um *gap* preenchido adequadamente e em quais áreas novos *gaps* precisam ser definidos. Na ausência dessa ponderação, tratamos os *gaps* como de igual importância e usamos como nossa função objetivo para otimização de portfólio o valor total esperado por todos os *gaps*. Entretanto, metodologia foi desenvolvida para ser usada com abordagens de *foresight* e, quando aplicada como apoio à tomada de decisão, irá incorporar ferramentas e resultados de *foresight* com a finalidade de definir limites apropriados para o preenchimento dos *gaps*, como parte integral de sua função objetivo para otimização.

Este artigo é organizado da seguinte maneira: a próxima seção discute a abordagem metodológica, seguida de resultados, discussões e implicações, incluindo suposições e limitações do presente artigo, além de futuras recomendações. A última seção expõe a conclusão.

2. Abordagem metodológica

A metodologia proposta é mostrada na Figura 1. O processo de tomada de decisão PortMan oferece ferramentas para otimizar portfólios e preencher *gaps* (CHOW *et al.*, 2011), que, neste artigo, são as deficiências nos subpilares do GII, isto é, indicadores de inovação. O processo é concluído com recomendações para um exercício de *foresight*, visando a estabelecer limiares para *gaps* e sua importância relativa baseada em cenários de futuro. Como resultado, podem-se propor programas que irão preencher os *gaps* e informar os tomadores de decisão sobre opções otimizadas de portfólios de programas alinhados à estratégia de inovação de um país.

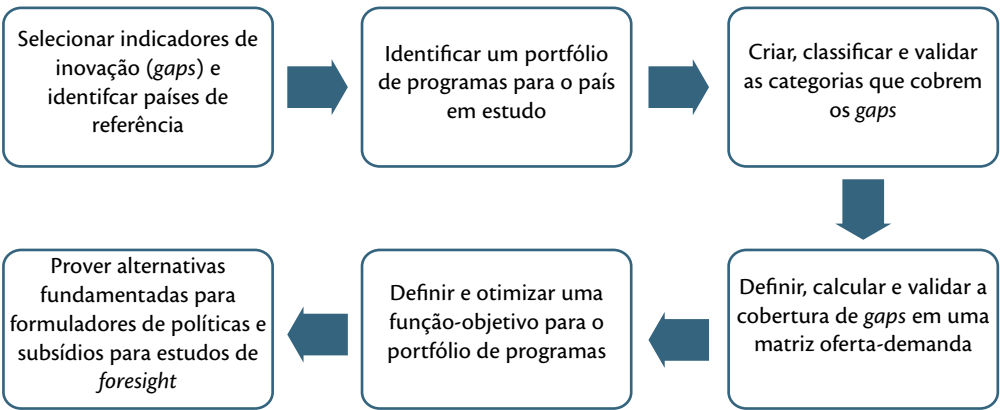


Figura 1. Descrição básica da metodologia proposta.

A fim de selecionar indicadores de inovação e identificar países de referência, deve-se comparar estudos de inovação para identificar métricas comuns e países que se posicionam consistentemente bem a despeito das métricas aplicadas. É comum encontrar indicadores de inovação associados ao Produto Interno Bruto (PIB), mas esses indicadores devem ser removidos do estudo, uma vez que definir e alcançar metas associadas ao PIB é uma decisão central do governo e não objetivos do portfólio de programas sob análise. Uma vez que os indicadores, isto é, os *gaps*, tenham sido identificados, deve-se desenvolver um método para classificar ou categorizar sua importância relativa, considerando que eles podem ser usados como subsídio para estudos de *foresight*.

2.1. Indicadores de inovação e países de referência

Fizemos uma breve comparação de relatórios de inovação, almejando identificar países de referência e indicadores de inovação para o Brasil, país em estudo neste artigo. Os seguintes relatórios foram usados: o *Global Innovation Index* (CORNELL UNIVERSITY, INSEAD e WIPO, 2014), o *Global Competitiveness Report 2013–2014* (SCHWAB *et al.*, 2013), *The Global Innovation Policy Index 2012* (ATKINSON *et al.*, 2012) e *The Innovation Union Scoreboard* (EUROPEAN COMMISSION, 2014). O GII foi o relatório selecionado para o presente estudo de caso. Esse índice tem evoluído continuamente desde 2007 e, em 2011, a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (*World Intellectual Property Organization*) o adotou como referência. Ele contém um dos mais completos estudos, com dados de 143 países, incluindo tendências como sustentabilidade e uma quebra de paradigmas, isto é, o impacto de ideias criativas na economia como parte do cálculo do índice de inovação. Outra vantagem do GII é que a maior parte dos dados é recente (2012-2013); somente 37% vêm de anos anteriores (CORNELL UNIVERSITY, INSEAD e WIPO, 2014). O GII define pilares sob os quais indicadores são agrupados e fornece quatro índices: o subíndice de entrada, o subíndice de saída, a relação de eficiência (saída/entrada) e a pontuação geral do GII (média simples entre os índices de entrada e saída). Ele também contém análise conceitual coerente e estatística para os indicadores compostos (CHERCHYE *et al.*, 2008).

Como o presente estudo foca em uma prova de conceito de uma metodologia, nem todos os indicadores existentes no GII foram usados. A utilização de indicadores relativos a fatores humanos para inovação segue recomendações do relatório de apresentação do GII 2014 e é caracterizada no índice pelos pilares: Capital humano e pesquisa; e sofisticação empresarial. Além disso, há um exercício de *foresight* do ecossistema de inovação em andamento no CGEE, que identificou diversas funções que contribuem para os objetivos de inovação. Uma das funções mais críticas identificadas pelo exercício corresponde ao desenvolvimento e à mobilização dos recursos humanos (isto é, fatores humanos). Por fim, além de Izsák (2013) indicar que há dois tipos de políticas para melhorar as aptidões para inovação - apoio aos recursos humanos para P&D e ensino de aptidões relacionadas à inovação -, um estudo Europeu (HOLLANDERS *et al.*, 2014) aponta recursos humanos como viabilizadores responsáveis pela performance em inovação.

Após a comparação de diversos relatórios sobre inovação, pode-se argumentar que os indicadores do GII selecionados não constituem uma lista abrangente. Por exemplo, para a Europa, outros indicadores têm sido discutidos na literatura (EUROPEAN COMMISSION, 2014): a porcentagem de jovens entre 20-24 anos que têm ao menos ensino médio completo; a porcentagem da população que completou a educação superior; número de estudantes de doutorado não Europeus; número de novos doutorandos; número de copublicações internacionais por milhão; e publicações científicas entre as 10% mais citadas mundialmente, como um percentual do total

de publicações científicas do país. Outros estudos usam o desempenho de P&D nas instituições de educação superior normalizadas pelo PIB e a qualificação de imigrantes (ATKINSON, *et al.*, 2012). Incluem, ainda, qualidade do sistema educacional, qualidade do ensino de matemática e ciências, acesso à internet em escolas, número de matrículas no ensino superior, extensão do treinamento de pessoal, qualidade das instituições de pesquisa científica e a disponibilidade de cientistas e engenheiros (SCHWAB *et al.*, 2013). Essas diferenças não são um problema para nossa metodologia porque ela presume um dado conjunto de indicadores como pré-condição para a análise e é o exercício de *foresight* que, no final do processo, verifica a adequação do conjunto escolhido para um cenário futuro.

2.2. *Gaps*, categorias e programas

Para estimar o impacto dos programas no preenchimento dos *gaps*, usamos o método de cobertura de *gaps* (CHOW *et al.*, 2011). Nessa abordagem, *gaps* ocupam um espaço que pode ser descrito por um conjunto mutuamente exclusivo de categorias que representam as dimensões do espaço de *gaps*. A escolha das categorias é essencial para a metodologia e deve envolver pesquisa bibliográfica e discussão com especialistas, uma vez que formuladores de políticas podem não definir de forma clara quais os problemas que uma política particular está tentando resolver, mas sim focam em ações para solucioná-los. Quando identificadas e validadas, deve-se classificar as categorias para que os programas possam receber pesos apropriados no portfólio.

Para o presente estudo, identificamos nove *gaps* (Tabela 1), cada um representando um indicador de inovação (subpilar do GII). Esses *gaps* são distribuídos entre as seguintes categorias que foram definidas após pesquisa bibliográfica e discussões com especialistas em políticas públicas: (1) educação dos pais; (2) recursos e apoio logístico para estudantes; (3) treinamento e recursos de professores; (4) demanda por trabalho qualificado; (5) padrões internacionais de pesquisa e ensino; e (6) infraestrutura para pesquisa e ensino.

Programas são conectados aos *gaps* pela matriz de cobertura do espaço de *gaps*. Para construir essa matriz, deve-se estimar quais dimensões do espaço, isto é, as categorias, são cobertas por cada programa e quanto bem cada programa aborda cada *gap*, isto é, seu potencial técnico para preencher um *gap* (CHOW, *et al.*, 2011). Os valores esperados para a matriz de cobertura de *gaps* são então calculados como mostra a Equação (1), na seção Resultados deste artigo. Em seguida, define-se uma função objetivo baseada no valor total esperado (ponderado pelo número de indivíduos beneficiados), que deve ser maximizada com o orçamento total do portfólio como restrição.

Os indicadores de inovação (*gaps*) usados para este estudo são descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores de inovação usados como *gaps* para este estudo com sua fonte, data de publicação e descrição.

ID	Gap	Descrição	Fonte Anos
1	Expectativa de anos de escolaridade	Número total de anos de estudo que uma criança de certa idade pode esperar receber no futuro, presumindo que a probabilidade de ser matriculada na escola em uma idade qualquer seja igual à taxa de matrículas para aquela idade.	UNESCO 2012-2014
2	Avaliação em leitura, matemática e ciências	O Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (<i>Program for International Student Assessment</i>) (PISA) desenvolve três pesquisas anuais que examinam o desempenho de estudantes de 15 anos em leitura, matemática e ciências. As pontuações são calculadas em cada ano para que a média seja 500 e o desvio padrão, 100. As pontuações para a China vêm de Xangai; as da Índia vêm de Himachal Pradesh e Tamil Nadu (média); as dos Emirados Árabes Unidos vêm de Dubai; e as da República Bolivariana da Venezuela, de Miranda. Estas pontuações são do relatório GII de 2013.	OECD 2010-2012
3	Proporção aluno-professor, Ensino Médio	O número de alunos matriculados no ensino médio dividido pelo número de professores deste nível (independente da matéria designada). Onde os dados faltaram para alguns países, as proporções para os últimos anos do ensino médio são relatadas; se estas também estão faltando, as proporções para os primeiros anos deste nível são relatadas no lugar.	UNESCO 2013-2014
4	Matrículas no Ensino Superior	A proporção do total de matrículas no ensino superior, independente da idade, pela população do grupo etário que, oficialmente, corresponde ao nível superior de educação. Educação superior, sendo ou não para qualificação em pesquisa avançada, normalmente requer, como uma condição mínima para admissão, o Ensino Médio completo.	UNESCO 2012-2014
5	Graduados em ciências e engenharia	A parcela de todos os graduados da educação superior em produção, engenharia e construção pelo total de alunos do ensino superior.	UNESCO 2012-2014
6	Internacionalização e Mobilidade no Ensino Superior	O número de estudantes estrangeiros estudando em determinado país como uma porcentagem do total de matrículas no ensino superior do país.	UNESCO 2013-2014
7	Pesquisadores	Pesquisadores por milhão/população. Pesquisadores em P&D são profissionais engajados na concepção ou criação do conhecimento de novos produtos, processos, métodos, ou sistemas e na gestão dos projetos relacionados. Estudantes PhD (ISCED97 nível 6) engajados em P&D são incluídos. A série com equivalentes em tempo integral (<i>full-time equivalents</i> – FTE) também existe, mas tem menos cobertura de países.	UNESCO 2012-2014
8	Pontuação média das 3 melhores universidades no QS <i>world ranking</i>	Pontuação média das três melhores universidades por país. Se menos que três universidade estão listadas no QS <i>ranking</i> de um total de 700, a soma das pontuações das universidades listadas são divididas por três, assumindo a pontuação zero para as não listadas.	QS 2013-2014
9	Empresas oferecendo treinamento formal	A porcentagem de empresas oferecendo programas de treinamento formal para seus funcionários permanentes e de tempo integral.	IFC-W/B 2005-2013

Fonte: GII, 2014.

A seleção de um portfólio de programas é complexa por diversas razões. Programas que têm impacto em inovação podem ter origem em diversas esferas governamentais: federal, estadual e

local. Desenvolver uma ampla lista de programas, além de quantificar seus custos e o número de beneficiados por um período de tempo cuidadosamente selecionado, pode ser uma tarefa difícil em razão da indisponibilidade ou inexistência de dados. Além disso, é possível que o(s) idealizador(es) desses programas não os tenham desenvolvido para solucionar diretamente os *gaps* relevantes para inovação. Entretanto, nossa proposta de metodologia permite fornecer opções informadas para os formuladores de políticas, mesmo na ausência de uma ampla lista de programas, com a ressalva de que a análise quantitativa proveniente desse trabalho não deve ser vista como uma recomendação a tais formuladores, mas como uma fonte de informação dentro de um conjunto de alternativas que devem ser consideradas juntamente com os resultados de outros métodos.

3. Resultados, discussão e implicações

Como descrito previamente, seis categorias foram usadas para representar o impacto dos programas nos *gaps*; essas categorias foram definidas de forma independente dos programas e devem representar um conjunto ortogonal necessário para cobrir todos os *gaps*. Essas categorias foram utilizadas em uma análise que usou o método PortMan (CHOW *et al.*, 2011) para obter o valor esperado ($\sum CE_{km}$) de cada programa, como mostrado na Equação (1). O valor esperado para cada programa, EV_i , quantificou sua importância relativa dentro do portfólio e foi normalizado para cada *gap*, como descrito na Equação (1). A soma de todos os valores esperados que contribuíram para um *gap* poderia ser maior que 1 (um) e isto poderia indicar que o portfólio está investindo além do necessário naquele *gap*:

$$EV_i = \sum_{k=1}^{ngaps} \frac{\sum_{n=1}^{ncat} C_{kn} \cdot T_{kn} \cdot CE_n \cdot P_{in}}{\sum_{m=1}^{ncat} CE_{km}} \quad (1),$$

onde i corresponde ao número de programas, k ao número de *gaps*, e m ao número de categorias. O número total de *gaps* e as categorias são caracterizados por $ngaps$ e $ncat$, respectivamente. Se um programa contribui para um *gap* por meio de uma categoria n , então P_{in} assume o valor de um, caso contrário, zero. Se um programa afeta um *gap* k por meio de uma categoria n , então C_{kn} assume o valor de um, caso contrário, zero. O potencial técnico T_{kn} mede o impacto potencial de um programa em tratar um *gap* por meio de uma dada categoria e este pode assumir três valores: baixo (0,33), médio (0,67) ou alto (1). A importância relativa das categorias foi obtida pela construção de uma rede bipartida não dirigida entre categorias e *gaps*, sem considerar os programas. As centralidades de autovetor resultantes foram somadas para gerar a normalização para cada *gap*. Portanto, a soma de CE_{km} inclui somente categorias relevantes para um determinado *gap* e não todas as seis categorias, como mostrado na Tabela 2. O valor

de CE_n no numerador usa os mesmos valores de centralidade de autovetor como pesos para as categorias que contribuem para o *gap*.

Tabela 2. Os pesos de centralidades de autovetor para cada *gap* *k* e categoria *m* e suas normalizações CE_{km} correspondentes baseadas no número de categorias relevantes.

		Gap <i>k</i>								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Categoria <i>m</i>	1	0.293	0.293							
	2	0.920	0.920		0.920	0.920	0.920		0.920	
	3	0.379	0.379	0.379						
	4	0.560			0.560	0.560				0.560
	5					0.574	0.574	0.574	0.574	
	6	1.000		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
ΣCE_{km}		3.152	1.592	1.379	2.48	3.054	2.494	1.574	2.494	0.56
Número de categorias relevantes		5	3	2	3	4	3	2	3	1

Os resultados mostrados na Tabela 2 (ΣCE_{km}) foram usados na Equação (1) para obter a cobertura de *gaps*, isto é, quantos *gaps* foram cobertos com o portfólio de programas. A Tabela 3 mostra, por programa, como cada categoria contribui (azul escuro) ou não (azul claro) para preencher um *gap*. Note que um único programa pode se referir a mais de um *gap*. Os valores esperados para cada programa são mostrados embaixo do número de programas e os números destacados (preto) indicam categorias que são consideradas importantes para serem preenchidas naquele *gap*. Como consideramos somente o impacto direto dos programas através de categorias, todos os impactos indiretos foram ignorados no cálculo. Um exemplo claro disso pode ser visto nos *gaps* 3 e 8 (vide Tabela 3), os quais não foram diretamente cobertos por nenhum dos programas. Isso não é surpreendente, já que o portfólio de programas do Ministério da Educação (MEC) não foi escolhido para satisfazer os *gaps* identificados como subpilares de inovação no Global Innovation Index, mas por seu potencial de melhoria na educação brasileira, considerando as idiosincrasias do Brasil, e não necessariamente o comparando com outros países. Foi por meio da presente metodologia que se trouxe esses elementos para uma comparação direta.

Tabela 3. Programas e categorias que contribuem (azul escuro=y) ou não (azul claro=n) para um gap.
Os valores esperados por programa são mostrados embaixo do número do programa. Os números destacados (preto) indicam as categorias que são consideradas importantes para preencher aquele gap.

		Gap 1	Gap 2	Gap 3	Gap 4	Gap 5	Gap 6	Gap 7	Gap 8	Gap 9
		categorias	categorias	categorias	categorias	categorias	categorias	categorias	categorias	categorias
P1 1.84	L	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6
	M	n n n y n y	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n y n y	n n n n n n	n n n n n y	n n n n n n	n n n n n n
	H	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n y n y	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P2 0.26	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	y n n n y	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P3 0.66	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	y n n n y	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n y n n n y	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P4 0.57	L	n n n y n n	n n n n n n	n n n n n n	n y n y n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n y n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n y n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P5 0.12	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n y n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P6 0.61	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n y n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	y n n y n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P7 0.56	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	y y n y n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P8 1.13	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n y n n
	H	n y n y n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P9 0.56	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	y y n y n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P10 0.52	L	n n n n n n	n n y n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n y n n n y	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P11 0.52	L	n n n n n n	n n y n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n y n n n y	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P12 0.54	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n y y n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P13 0.54	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n y y n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P14 0.29	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n y n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
P15 0.29	L	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	M	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n
	H	n y n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n	n n n n n n

A Figura 2 mostra um gráfico do valor esperado de cada um dos 15 programas do Ministério da Educação, classificados da seguinte forma: programas de 1 a 6 focam na educação superior; programas 7 a 9 são, em sua maioria, dedicados à educação vocacional e profissional, e os programas de 10 a 15 são dedicados à educação básica. Os programas contêm uma composição de políticas que são inerentes às necessidades do Brasil, as quais incluem, entre outros, transporte escolar de estudantes das áreas rurais, acesso à escola para portadores de necessidades especiais e apoio a estudantes em condições vulneráveis. Após análise cuidadosa, ficou claro que não se pode simplesmente avaliar os programas sem considerar o número de pessoas beneficiadas e o custo envolvido. Essas questões serão tratadas posteriormente neste artigo.

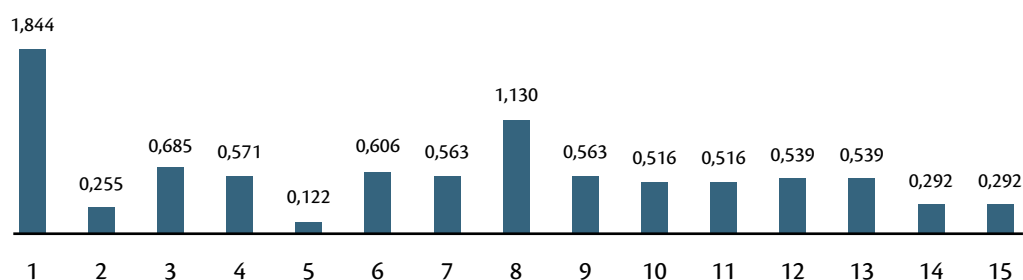


Figura 2. Valor esperado para todos os 15 programas do portfólio.

O impacto do portfólio também pode ser quantificado com respeito aos *gaps*, como mostra a Figura 3. Aparentemente, há uma redundância em tratar os *gaps* 1, 2 e 4, enquanto outros *gaps* não são suficientemente cobertos para tratar os fatores humanos para inovação. O formulador de política deve notar que essa informação quantitativa é uma estimativa preliminar e não uma recomendação de onde investir. Por exemplo, os programas que contribuem para a *gap* 1 incluem elementos importantes do ecossistema brasileiro que têm impacto na expectativa de anos de escolaridade, como: melhorias na infraestrutura; distribuição de livros aos estudantes; acesso para pessoas portadoras de necessidades especiais e em condições vulneráveis. Este exemplo destaca a dificuldade em correlacionar programas que não são diretamente concebidos para desenvolver o capital humano para inovação, mas são importantes para estabelecer um ecossistema saudável para este propósito.

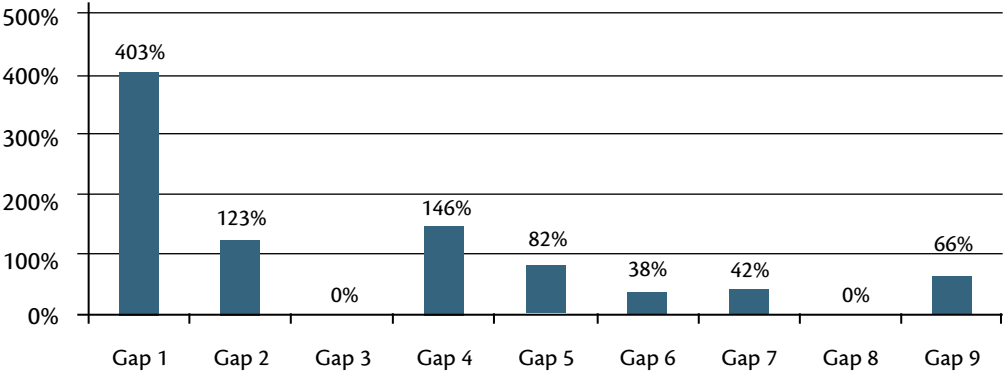


Figura 3. Porcentagem dentro das quais o portfólio de programas cobre cada gap.

Para entender a importância desses *gaps*, identificamos os 25 países mais inovadores, pela comparação dos relatórios de inovação previamente citados. Identificamos, para cada *gap* (isto é, um subpilar do *Global Innovation Index*), os 25 países que têm a pontuação mais alta para aquele *gap* em particular. Em seguida, perguntamos quantos dos 25 países mais inovadores estão entre aqueles com as 25 maiores pontuações para aquele *gap*. Esses países foram usados para construir uma rede não dirigida com os países e os *gaps* representados como nós da rede. Os resultados obtidos foram as centralidades de autovetor indicadas na Tabela 4, mostrando a importância relativa dos *gaps*. A Figura 4 indica o número de *gaps* cobertos por cada país, considerando somente os indicadores usados para este estudo (*vide* Tabelas 1 e 4). *A priori*, não existe uma prescrição para o número de *gaps* que um portfólio deve cobrir, mas o presente portfólio claramente possui um impacto maior em três (*gaps* 1, 2 e 4) (*vide* Figura 3) dos seis mais relevantes encontrados pela análise de rede (*vide* Tabela 4): expectativa de tempo de escolaridade; avaliação em leitura, matemática e ciências; e matrículas no nível superior.

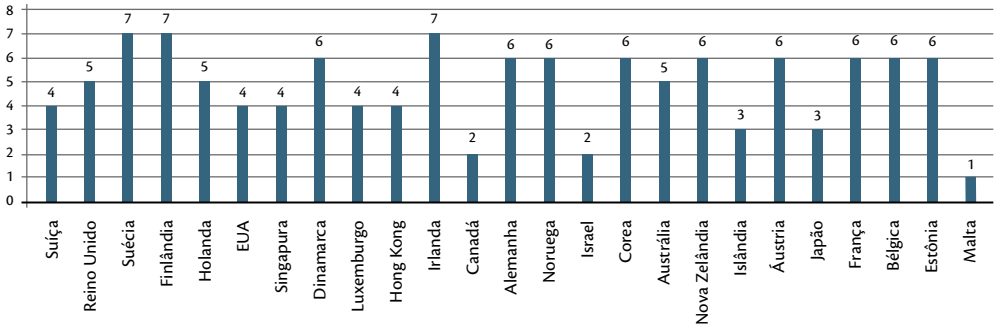


Figura 4. Número de *gaps* cobertos pelos países inovadores para os indicadores usados neste trabalho.

Tabela 4. Importância relativa dos *gaps*, considerando os 25 países mais inovadores para cada *gap*.

Lacunas	Descrição	Posição (classificada por importância)	Centralidade de Autovetor
8	Pontuação média das 3 melhores universidades no QS world ranking	1	1,00
7	Pesquisadores	3	0,99
2	Avaliação em leitura, matemática e ciências	2	0,98
1	Expectativa de vida escolar	4	0,88
6	Internacionalização e Mobilidade no Ensino Superior	5	0,79
4	Matrículas no superior	6	0,77
5	Graduados em ciências e engenharia	7	0,40
3	Proporção aluno-professor no Ensino Médio	8	0,21
9	Empresas oferecendo treinamento formal	9	0,11

O próximo passo da análise envolveu a atribuição de valores para o número de beneficiados e o custo por programa, como demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5. Pesos (3,2,1) usados para a correção dos valores esperados para cada programa, baseados no custo e no número de beneficiados.

Custo		Beneficiados	
3	Mais de R\$ 1bilhão	1	Menos de R\$ 100 mil
2	de R\$ 100 milhões a R\$ 1bilhão	2	de R\$ 100 mil a R\$ 1 milhão
1	Menos de R\$ 100 milhões	3	Mais de R\$ 1milhão

Esses valores devem ser considerados preliminares porque foram estimados por meio de uma combinação de orçamentos planejados e de execução orçamentária, que não necessariamente cobriu todos os anos de todos os programas. O número de beneficiados foi deduzido, em alguns programas, com base no número de instituições favorecidas por aqueles programas, e não no número real de indivíduos atendidos pelo programa. Para o presente artigo, isso não é um problema, uma vez que estamos somente avaliando a relevância da metodologia.

A Tabela 6 mostra os valores esperados, normalizados pelo custo e número de beneficiados. Os Programas 2, 10, 11 e 12 são aqueles cuja proporção de beneficiados pelo custo é mais favorável.

Entretanto, quando este ajuste é usado para calcular o valor esperado (TEV/Custo), os programas 8, 12, 10 e 11 aparentam ser os mais relevantes, enquanto os programas 5 e 14 são os menos relevantes.

Tabela 6. Pesos (3,2,1) usados para a correção dos valores esperados para cada programa, baseados no custo e número de beneficiados.

	EV	Custo	Beneficiado	Beneficiado/ Custo	EV/Custo	TEV (EV x Beneficiados)	TEV/Custo
P1	1.844	3	1	0.3	0.615	1.844	0.615
P2	0.255	1	2	2.0	0.255	0.511	0.511
P3	0.658	3	3	1.0	0.219	1.973	0.658
P4	0.571	3	2	0.7	0.190	1.141	0.380
P5	0.122	1	1	1.0	0.122	0.122	0.122
P6	0.606	2	1	0.5	0.303	0.606	0.303
P7	0.563	1	1	1.0	0.563	0.563	0.563
P8	1.130	3	3	1.0	0.377	3.389	1.130
P9	0.563	2	1	0.5	0.281	0.563	0.281
P10	0.516	2	3	1.5	0.258	1.548	0.774
P11	0.516	2	3	1.5	0.258	1.548	0.774
P12	0.539	2	3	1.5	0.269	1.616	0.808
P13	0.539	3	3	1.0	0.180	1.616	0.539
P14	0.292	3	2	0.7	0.097	0.584	0.195
P15	0.292	3	3	1.0	0.097	0.876	0.292

O número de beneficiados ponderou cada programa e essa quantidade, o valor total esperado (TEV), foi maximizada, levando em consideração os limites orçamentários. A função objetivo (OF) foi definida como:

$$OF = \sum_{j=1}^n TEV_j \cdot P_j \quad (2),$$

onde TEV_j é a soma do valor esperado para o programa P_j em todos os *gaps*, ponderados pelo número de beneficiados, n é o número total de programas e P_j é igual a um quando o programa é incluído no portfólio, caso contrário, é zero. A maximização foi feita usando um algoritmo evolucionário de programação linear onde é imposta a restrição descrita pela equação (3):

$$\sum_{j=1}^n C_j < Total\ Portfolio\ Cost \quad (3),$$

onde C_j é o custo total estimado para o programa P_j , considerando o valor do meio para cada um dos três intervalos dispostos na Tabela 5. A inclusão ou exclusão de programas em um portfólio limitado a um dado orçamento pode variar conforme mudanças na restrição do orçamento. Para testar isto, maximizamos a função objetivo e criamos dezoito cenários de custos (S1 a S18) em ordem crescente de valor. Os resultados mostrados na Tabela 7 sugerem que, para cenários de orçamentos baixos, este portfólio deve conter mais programas de menor custo.

Tabela 7. Resultados obtidos da maximização do valor total esperado, ponderados pelo número de beneficiados para cada programa, usando custo total como restrição. Para detalhes, *vide* texto.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	
																TEV
S1							0.56									0.56
S2		0.51					0.56									1.07
S3		0.51			0.12		0.56									1.20
S4												1.62				1.62
S5		0.51			0.12		0.56					1.62				2.81
S6												1.62	1.62			3.23
S7		0.51			0.12		0.56					1.62	1.62			4.43
S8										1.55	1.55	1.62				4.71
S9		0.51			0.12		0.56			1.55	1.55	1.62				5.91
S10		0.51			0.12	0.61	0.56			1.55	1.55	1.62				6.51
S11		0.51			0.12	0.61	0.56		0.56	1.55	1.55	1.62				7.08
S12		0.51			0.12	0.61	0.56	3.39	0.56	1.55	1.55	1.62				10.46
S13		0.51	1.97		0.12	0.61	0.56	3.39	0.56	1.55	1.55	1.62				12.44
S14	1.84	0.51	1.97		0.12	0.61	0.56	3.39	0.56	1.55	1.55	1.62				14.28
S15	1.84	0.51	1.97		0.12	0.61	0.56	3.39	0.56	1.55	1.55	1.62	1.62			15.90
S16	1.84	0.51	1.97	1.14	0.12	0.61	0.56	3.39	0.56	1.55	1.55	1.62	1.62			17.04
S17	1.84	0.51	1.97	1.14	0.12	0.61	0.56	3.39	0.56	1.55	1.55	1.62	1.62		0.88	17.91
S18	1.84	0.51	1.97	1.14	0.12	0.61	0.56	3.39	0.56	1.55	1.55	1.62	1.62	0.58	0.88	18.50

A metodologia permite a identificação dos programas, como o P13, que podem ser excluídos de um portfólio em cenários de orçamento médio, mas podem ser incluídos em cenários de baixo ou alto orçamento, não sendo interpretado, portanto, como um programa de alta prioridade. Da análise numérica, pode-se também remover os programas P14 e P15 do portfólio, uma vez que eles são somente justificados quando altos orçamentos estão disponíveis. Os Programas P12, P11 e P10 aparentam ter uma relação custo-benefício favorável, tendo em vista que, uma vez incluídos no portfólio, eles compõem o portfólio nos cenários subsequentes de orçamento.

Outra visualização dos resultados da otimização do portfólio é mostrada na Figura 5, a qual indica que, para um valor total esperado de até 7, programas podem ser inclusos com efeito marginal no orçamento total. Além desse valor, há uma sequência de programas de alto custo que tem uma contribuição importante para o valor total esperado, como no P8 e P3.

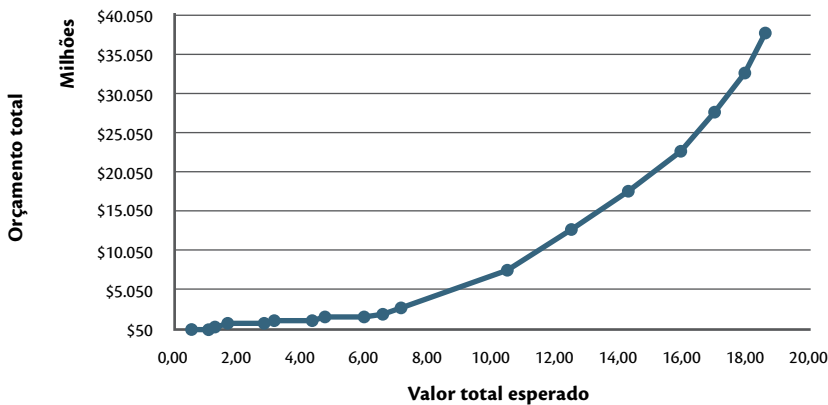


Figura 5. Valor total esperado para o portfólio de programas, baseado na restrição total de um orçamento depois da maximização da função objetivo. Para detalhes, vide texto.

3.1. Discussões e implicações

Essas são ressalvas importantes para a metodologia proposta:

- Os programas não devem ser analisados individualmente, já que avaliações mais seguras podem ser feitas sobre o portfólio de programas, devido a sua interconectividade na análise;
- Nossa análise quantitativa não remove a subjetividade dos indicadores de inovação, mas tem o objetivo de minimizar subjetividade adicional, por meio do uso de julgamentos validados por especialistas;

- Nosso método é sensível a mudanças no potencial técnico dos programas, mas reside na definição adequada e caracterização das categorias que impactam os *gaps*.

Os resultados discutidos neste artigo são subsídios importantes para o exercício de *foresight* do ecossistema de inovação em andamento no CGEE, o qual está, atualmente, terminando sua fase de diagnóstico⁶. As principais questões que atualmente lideram o exercício estão descritas na Tabela 8. A Tabela 9 destaca perguntas adicionais que devem ser respondidas, baseadas nos resultados deste artigo.

Tabela 8. Fases e principais perguntas que direcionam o exercício de *foresight* continuado do CGEE para um ecossistema de inovação.

Diagnóstico	Exploração	Prescrição
• Quais são as funções do sistema que representam o Sistema Nacional de Ciências, Tecnologia e Inovação (SNCTI)? • Quais são as atividades CT&I desenvolvidas para cada agente do sistema e quais funções do sistema se relacionam a elas? • Quais são as funções e/ou relações importantes entre agentes faltantes ou mal desenvolvidos e por quê?	• Qual é o futuro da inovação e do SNCTI? • Como pode ser mensurado tal SNCTI futuro em termos de performance? • De quais formas o SNCTI pode ser organizado? • Como o atual SNCTI pode evoluir na direção de diferentes possibilidades? • Quais agentes devem exercer quais papéis?	• Quais critérios devem ser usados para priorizar a organização, medidas de <i>performance</i> e papéis dos agentes do SNCTI? • Quais políticas são requeridas para permitir que o SNCTI evolua na direção desejada? • Quais outras ações (por exemplo, fundos, pesquisa, etc.) são requeridas e como implementá-las a tempo, considerando as inter-relações e a interdependência (isto é, o mapeamento)?

Tabela 9. Novas questões para o exercício de *foresight* de ecossistemas de inovação no CGEE que derivaram dos resultados deste artigo.

Diagnóstico	Exploração	Prescrição
• Qual é o estado atual do sistema de inovação do Brasil e como se compara aos países de referência? • Em qual extensão os <i>gaps</i> identificados e os programas existentes cumprem os requisitos para os fatores humanos para inovação?	• Quais são as aspirações do sistema brasileiro de inovação? • Quais fatores de países de referência podem ser adaptados para atender essas aspirações? • Quais são os <i>gaps</i> relevantes para a melhoria dos fatores humanos para inovação no ecossistema brasileiro? • Quais são os limites possíveis apropriados que podem ser aplicados para a análise de cobertura de <i>gaps</i>?	• Como combinar aspirações e países de referências para definir uma visão para o futuro do sistema brasileiro de inovação? • Quais <i>gaps</i>, limites de <i>gaps</i> e programas são mais apropriados para apoiar tal visão?

6 Um exercício de *foresight* pode ser tipicamente dividido em três fases principais: diagnóstico, exploração e prescrição (CAGNIN; KÖNNÖLÄ, 2014).

O exercício de *foresight* deve prover um roteiro com os programas existentes e os novos que são necessários para obter os valores limites de cada *gap*, com o intuito de alcançar a visão de futuro do sistema de inovação brasileiro. Devem-se usar programas e *gaps* a partir da análise atual, juntamente com a metodologia de otimização descrita aqui, como alimentação para o mapeamento do apoio à tomada de decisão para os fatores humanos da inovação. Em princípio, a análise atual deve ser repetida para uma ampla lista de pilares (incluindo aqueles do GII), de modo que a visão completa de todo o sistema de inovação possa ser proposta. Assim, este estudo deve ser visto como o primeiro passo em direção a uma nova metodologia para *foresight* de inovação. A seguir, são expostas recomendações para desenvolvimentos futuros:

- expandir a presente análise para incluir o maior número possível de indicadores do GII;
- combinar dados de diferentes relatórios de inovação;
- incluir programas de diferentes ramos do governo;
- incluir estimativas de orçamento e não os gastos efetivos dos programas;
- melhorar a análise de custo e caracterizar os orçamentos por um período de, pelo menos, cinco a sete anos, uma duração média típica de implementação de medidas políticas. Isto permitiria a incorporação de custos para vários anos como uma restrição adicional;
- incluir um amplo conjunto de especialistas para validar todas as categorias, os *gaps* e programas;
- melhorar a otimização de portfólio, usando a abordagem Monte Carlo para lidar com incertezas (para exemplo, *vide* Chow *et al.*, 2011);
- desenvolver ferramentas adequadas para o exercício de *foresight*; e
- adicionar novas dimensões de análise para levar em conta as características especiais do Brasil, como:
 - aspectos regionais de indicadores, tendo em vista que a redução de disparidades é de extrema importância para um país continental como o Brasil;
 - disparidades entre instituições de ensino públicas e privadas;
 - aspectos de vulnerabilidade, gênero e etnia, quando aplicáveis.

4. Conclusões

Este artigo descreve um estudo de caso para um novo método que associa *foresight* de inovação, índices internacionais de inovação e análise de decisão para identificar a melhor combinação de investimentos para melhorar os sistemas nacionais de inovação, usando um conjunto de dados do Brasil como exemplo. As principais implicações do método para a prática de FTA, avaliação e melhorias de outros sistemas de inovações nacionais são: (i) pode-se classificar uma lista de programas não exaustiva e avaliar seu impacto nos indicadores de inovação; (ii) pode-se informar os formuladores de políticas sobre potenciais *gaps* não identificados nas estratégias de inovação; e (iii) pode-se prover subsídios para estudos de *foresight*, visando a melhorar o ecossistema de inovação de um país.

O resultado principal deste artigo é a prova de conceito de uma nova metodologia. Mais estudos são necessários para prover uma melhor avaliação de como os programas no Brasil são ou não adequados para preencher os *gaps* propostos. Especialistas nas áreas de interesse devem validar as matrizes de análises de *gaps* e o trabalho deve ser expandido para incluir todos os indicadores do *Global Innovation Index* e, potencialmente, indicadores de estudos adicionais.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer Steve Berner da RAND Corporation, EUA e Sari Soderlund da Universidade de Turku, Finlândia, por revisarem a versão original deste artigo e proverem comentários úteis.

Referências

- ATKINSON, R.D.; EZELL, S.J.; STEWART, L.A. **The global innovation policy index 2012**: Information Technology and Innovation Foundation and the Kauffman Foundation. 2012.
- CAGNIN, C.; AMANATIDOU, E.; KEENAN, M. Orienting European innovation systems towards grand challenges and the roles that FTA can play. **Science and Public Policy**, v. 39, p. 140–152. 2012.
- CAGNIN, C.; KÖNNÖLÄ, T. Global foresight: Lessons from a scenario and *roadmapping* exercise on manufacturing systems. **Futures**, v. 59, p. 27–38. 2014.
- CHERCHYE, L.; MOESEN, W.; ROGGE, N.; VAN PUYENBROECK, T.; SAISANA, M.; SALTELLI, A.; LISKA, R.; TARANTOLA, S. Creating composite indicators with DEA and robustness analysis: the case of the technology achievement index. **Journal of Operational Research Society**, n.59, p. 239–51. 2008.
- CHOW, B.G.; SILBERGLITT, R.; HIROMOTO, S.; REILLY, C.; PANIS, C. **Toward affordable systems II portfolio management for army science and technology programs under uncertainties**. Santa Monica, Calif.: RAND Corporation MG-979-A. 2011. Disponível em: <http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2011/RAND_MG979.pdf>.
- CORNELL UNIVERSITY, INSEAD, WIPO. **The global innovation index 2014: the human factor in innovation**, Fontainebleau, Ithaca, and Geneva. 2014.
- EUROPEAN COMMISSION, DG ENTERPRISE AND INDUSTRY. **Innovation union scoreboard 2014** – prepared by Hollanders H. and Es-Sadki N., Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (UNU-MERIT).
- GEORGHIOU, L. **The future of foresighting for economic development**. In: TECHNOLOGY Foresight SUMMIT 2007 WATER PRODUCTIVITY IN THE INDUSTRY, Budapest, Hungary, 27-29 Sept. 2007. Disponível em: <https://www.unido.org/foresight/rwp/dokums_pres/tf_plenary_georghiou_201.pdf> .
- HOLLANDERS, H.; TARANTOLA, S. **Innovation union scoreboard 2010** – Methodology report.
- IFC-WB 2005-2013 – firms offering formal training - International Finance Corporation and World Bank, Enterprise Surveys (2005–13). <<http://www.enterprisesurveys.org/>>. 2011.
- IZSÁK, K.; MARKIANIDOU, P.; RADOŠEVIĆ, S. Lessons from a decade of innovation policy what can be learnt from the INNO Policy Trend Chart and The Innovation Union Scoreboard. 2013.
- LOVERIDGE, D. **Foresight: the art and science of anticipating the future**. New York and London: Routledge. 2009.
- MILLER, R. Futures literacy: a hybrid strategic scenario method. **Futures: the journal of policy, planning and future studies**, v. 39, Elsevier, p. 341-362, May 2007.

- _____. Using the future: a practical approach to embracing complexity. **Ethos** – Journal of the Singapore Civil Service, Singapore, November, 2011a.
- _____. Being without existing: the futures community at a turning point – a comment on Jay Ogilvys 'Facing the Fold. Foresight, Emerald, v. 13, n. 4, 2011b.
- NATIONAL SCIENCE BOARD. **Science and engineering indicators 2014**. Arlington VA: National Science Foundation (NSB 14-01). 2014.
- PROGRAMME FOR INTERNATIONAL STUDENT ASSESSMENT – PISA/OECD. (2010–12). **Site**. Disponível em: <<http://www.pisa.oecd.org/>>.
- QS QUACQUARELLI Symonds Ltd. **QS world university ranking 2013/2014**, top universities. Disponível em: <<http://www.topuniversities.com/university-rankings/world-universityrankings/2013>>.
- SCHWAB, K.; SALA I MARTIN, X. **World economic forum, the global competitiveness report 2013-2014**, World Economic Forum, 09/2013.
- UNESCO. Institute for Statistics. **UIS online database (2004–12)**. Disponível em: <<http://stats.uis.unesco.org.br>>.