

Políticas públicas, energias renováveis e desenvolvimento sustentável

estudos aplicados no Brasil e em Cuba



Christian Luiz da Silva
Mayra Casas Vilardell
Alain Hernández Santoyo
ORGANIZADORES

Políticas públicas, energias renováveis e desenvolvimento sustentável

estudos aplicados no Brasil e em Cuba





Reitor
Vice-Reitora
Diretora de Comunicação
Diretora-Adjunta de Com.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Marcos Flávio de Oliveira Schiefler Filho
Tangriani Simioni Assmann
Maurini de Souza
Ana Paula Ferreira



Coordenadora-Geral
Coordenadora-Adjunta

EDITORA DA UTFPR

Eunice Liu
Giani Carla Ito

CONSELHO EDITORIAL

Titulares

Andre Sandmann
Aruanã Antonio dos Passos
Danyel Scheidegger Soboll
Janaina Piana
Letícia Gomes Teofilo da Silva
Marcos Hidemi de Lima
Maria Helene Giovanetti Canteri
Mariane Kempka
Sara Tatiana Moreira
Sidemar Presotto Nunes
Silvana Stremel

Suplentes

Adriano Lopes Romero
Anaís Andrea Neis de Oliveira
Anna Luiza Metidieri Cruz Malthez
Anna Silvia Penteado Setti da Rocha
Antonio Goncalves de Oliveira
Carina Merkle Lingnau
Elizabeth Mie Hashimoto
Jezili Dias
Marcelo Fernando de Lima
Marcelo Goncalves Trentin
Pedro Valerio Dutra de Moraes

As opiniões e os conteúdos expressos neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não refletem, necessariamente, a opinião do corpo editorial.



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

Políticas públicas, energias renováveis e desenvolvimento sustentável

estudos aplicados no Brasil e em Cuba

Christian Luiz da Silva

Mayra Casas Vilardeñ

Alain Hernández Santoyo

ORGANIZADORES

Curitiba, 2023

ED**UT**FPR

© 2023 Editora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná



CC BY-NC-ND

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons - Atribuição Não Comercial - Sem Derivações 4.0 Internacional. Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Design	Eunice Liu, João Vitor Frutuoso da Costa, Arthur Macedo Ramiro de Assis, Sílvia Regina Coelho Canevari, Mayara Hikari Dias Nakai, Tiago de Almeida Zarowny, Leticia Aparecida Rubio e Laise Abrão Bittencourt
Capa	João Vitor Frutuoso da Costa
Revisão	Amanda Baroni, Anna Moraes, Stephanie Polydoro, Stheffany Isabelle Rosário dos Santos, Gabriela Hipólito, Hadson Oliveira e Laura de Souza Miczevski
Normalização	Tatiana Campos da Hora, Hadson Oliveira, Marta Botelho Lira e Ludmilla Borinelli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Políticas públicas, energias renováveis e desenvolvimento sustentável

[recurso eletrônico] : estudos aplicados no Brasil e em Cuba / organização : Christian Luiz da Silva, Alain Hernández Santoyo, Mayra Casas Vilardell. -- Curitiba, PR : EDUTFPR, 2023.
1 arquivo texto (133 p.) : il., PDF; 32,2MB.

Modo de acesso: World Wide Web.

Disponível em formato PDF.

Texto em português e espanhol

Título retirado da tela de abertura (visualizado em 19 maio 2023).

Inclui bibliografias.

eISBN: 978-65-88596-51-7

1. Desenvolvimento energético. 2. Política energética - Brasil. 3. Política energética - Cuba. 4. Desenvolvimento sustentável. 5. Energia - Fontes alternativas. 6. Recursos naturais I. Silva, Christian Luiz da. II. Santoyo, Alain Hernández. III. Vilardell, Mayra Casas. IV. Título. II. Título.

CDD: ed. 23 -- 333.79

Departamento de Bibliotecas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429

EDUTFPR

Editora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Av. Sete de Setembro, 3165

80230-901 Curitiba PR

utfpr.edu.br/editora

editora.utfpr.edu.br

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)/MES-CUBA Projeto n.º 189/13, Edital n.º 046/2013, mediante o patrocínio do doutorado “sanduíche” e pós-doutorado dos professores Dr. Alain Hernández Santoyo (pós-doutorado: 2014-2015); Dra. Arielys Martínez Hernández (doutorado: 2017); Dra. Dora Lilia Márquez Delgado (pós-doutorado: 2018); Dra. Andréa de Souza (doutorado: 2014-2015); Dra. Manuela Silva (doutorado: 2018); Profa. Dra. Mayra Casas Vilardell (Universidad de Pinar del Río – UPR-Cuba: 2014; 2017; 2018) e pelo coordenador no Brasil Prof. Dr. Christian Luiz da Silva. Conjuntamente, consignamos o agradecimento ao Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD-CAPES), pela publicação do pós-doutorado (2016-2019), Dr. Alain Hernández Santoyo, mediante Edital n.º 10/2016- PGDRA, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio (PGDRA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus Toledo, Paraná, Brasil.

Sumário

- 8 Prefácio
- 11 La política energética en Cuba: desafíos y oportunidades a partir del empleo de fuentes renovables de energía
- Alain Hernández Santoyo, Mayra Casas Vilardell, Dora Lilia Márquez Delgado, Arielys Martínez Hernández e Francisco Lorenzo González
- 37 Empreendimentos do setor elétrico: estudo comparativo entre a regulação brasileira e cubana sobre meio ambiente e uso dos recursos naturais
- Ana Paula Myszczyk e Christian Luiz da Silva
- 53 O atual modelo de expansão da matriz energética brasileira baseado nas hidrelétricas
- Andréa de Souza, Christian Luiz da Silva e Alain Hernández Santoyo
- 67 Uma análise comparativa de indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável
- Adriana Ripka, Christian Luiz da Silva e Alain Hernández Santoyo
- 91 Metodologia para a obtenção da matriz de decisão em energia hidrelétrica no estado do Paraná com o uso do método multicritério
- Andréa de Souza, Christian Luiz da Silva e Alain Hernández Santoyo
- 113 Proposta de um conjunto de indicadores de sustentabilidade e uma organização matricial como metodologia para tomada de decisão no setor hidrelétrico
- Leandro Angelo Pereira, Manuela Dreyer da Silva, Christian Luiz da Silva e Alain Hernández Santoyo

128 Sobre os autores

132 Índice remissivo

Prefácio

O ritmo acelerado do crescimento econômico observado nos países em desenvolvimento e a tendência de crescimento populacional resultam em um uso cada vez maior dos recursos renováveis.

Os países procuram elaborar estratégias para garantir seu abastecimento energético, uma vez que é uma fonte essencial para a vida cotidiana da sociedade. Todavia, prover essa energia é um processo complexo que envolve interesses econômicos, sociais, políticos e ambientais. O Estado coordena esse complexo processo, por meio da elaboração de políticas energéticas, com o objetivo de garantir o suprimento de energia para a população.

Cada Estado implementa suas próprias políticas, as quais interagem entre si. Dessa forma, o uso da matriz energética depende de outras políticas públicas que exigem uma ampla governança e o envolvimento de vários setores públicos e privados que participam desse processo decisório.

Este livro se propõe a realizar uma comparação entre as políticas energéticas adotadas em Cuba e no Brasil. Os leitores encontrarão informações sobre a política energética cubana e brasileira, os principais entraves regulatórios nos dois países, e o modelo da matriz energética brasileira comparada a outros países similares. Analisa ainda os indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável e apresenta um modelo de matriz de decisão de multicritério voltada para apoiar na escolha entre projetos hidrelétricos.

O primeiro capítulo descreve a política energética em Cuba, caracterizando a situação energética e suas principais dificuldades, em energia convencional e renovável, destacando o papel das fontes renováveis de energia nos próximos anos.

O segundo capítulo apresenta os principais entraves regulatórios a partir da perspectiva do direito comparado, examinando-se os caminhos trazidos por Brasil e Cuba na mediação do conflito entre desenvolvimento econômico e proteção do meio ambiente e seus reflexos nos empreendimentos do setor elétrico.

O terceiro capítulo discute o atual modelo de desenvolvimento da matriz energética brasileira baseada na expansão das hidrelétricas, traçando um comparativo entre o Brasil e outros países com capacidade de geração de hidroenergia similares à brasileira e

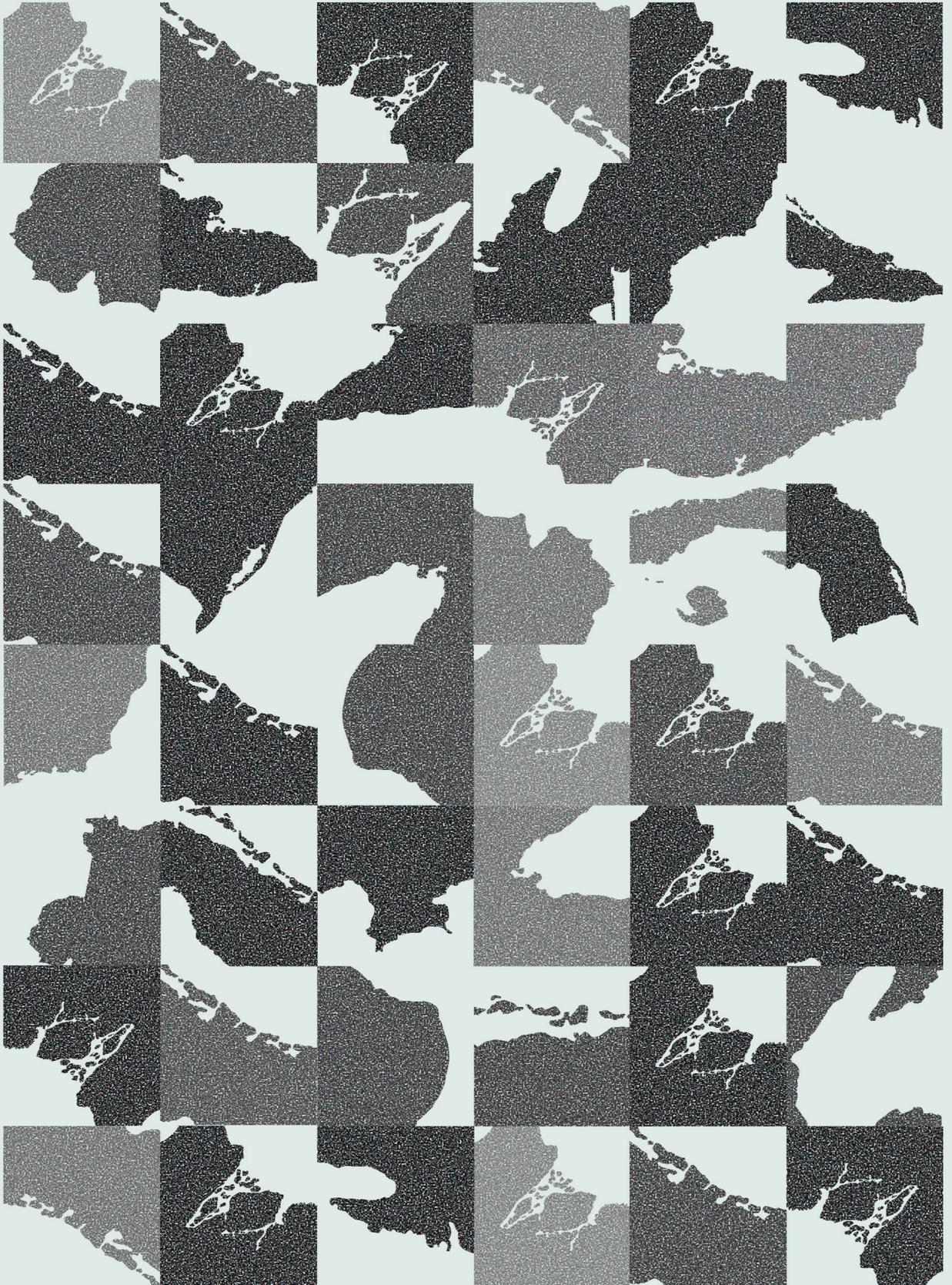
apontando gargalos para a continuidade da expansão desse modelo, bem como as fragilidades que deveriam ser tratadas prioritariamente.

O quarto capítulo traz uma análise comparativa de indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável, traçando o atual cenário desses indicadores, desde sua criação até 2018.

O quinto capítulo apresenta um modelo de matriz de decisão multicritério, com o objetivo de apoiar gestores na melhor estruturação dos parâmetros de escolha entre projetos hidrelétricos a partir do uso de um instrumento de seleção de variáveis amparado em recursos matemáticos e estatísticos que aumentam a confiabilidade da decisão final.

Por fim, o sexto capítulo propõe um conjunto de indicadores de sustentabilidade considerando em suas diversas dimensões (econômicas, ambientais, sociais e institucionais), associados às escolhas energéticas, assim como uma metodologia que permite organizar dados e informações como suporte ao processo de tomada de decisões no setor hidrelétrico.

Os organizadores



La política energética en Cuba: desafíos y oportunidades a partir del empleo de fuentes renovables de energía

Alain Hernández Santoyo

Mayra Casas Vilardell

Dora Lilia Márquez Delgado

Arielys Martínez Hernández

Francisco Lorenzo González

Introducción

En el siglo XXI no puede concebirse el desarrollo sin obligatoriamente analizar el papel que en el mismo tiene la energía. Sin embargo, resulta necesario significar los crecientes efectos que a escala planetaria provoca la contaminación ambiental como consecuencia del uso de los combustibles fósiles, situación que amenaza la estabilidad del clima y la vida en el Planeta.

Las consecuencias del cambio climático y el calentamiento global, muestran signos crecientes y ello justifica el empeño de dedicar ingentes esfuerzos desde todos los escenarios posibles para tomar medidas urgentes. El desarrollo sostenible al que se aspira, tiene el enorme reto de transformar patrones de comportamiento que han derivado en el agotamiento de recursos y en daños irreversibles al Planeta.

La dependencia energética es dependencia económica y, por consiguiente, dependencia política, de ahí el alcance y connotación del tema energético a escala global. Al respecto, en 2012, la Organización de Naciones Unidas (ONU) lanzó la iniciativa “Energía para Todos”, dirigida a centrar la atención política y la capacidad de implementación de ese desafío. Este programa tiene como propósito fundamental movilizar acciones en apoyo a tres objetivos

para el año 2030: (a) facilitar el acceso universal a los servicios energéticos modernos; (b) duplicar la tasa global de mejora de la eficiencia energética; (c) duplicar la participación de las energías renovables en la mezcla para alcanzar un desarrollo sostenible (BAZILIAN; NAKHOODA; VAN DE GRAAF, 2014).

A nivel nacional, Cuba, proyecta una atención priorizada a este tema y ello se hace evidente en su Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social (PNDES) hasta el 2030, donde considera entre los sectores estratégicos para la economía, al Electroenergético, enfocado al uso de las Fuentes Renovables de Energía (FRE), la elevación de la eficiencia y la exploración, producción y refinación de petróleo y gas. El eje estratégico “Recursos naturales y medio ambiente”, deja explícito en su décimo objetivo específico elevar la eficiencia energética y el desarrollo de FRE, lo que contribuye, entre otros beneficios a mitigar los efectos negativos del cambio climático y a promover un desarrollo económico menos intensivo en carbono (COYA DE LA FUENTE, 2019; CUBA, 2016).

En este contexto, se promueve en el ámbito universitario la investigación en el tema energético y se agradece desde la Universidad de Pinar del Río (UPR) a la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES) por la prioridad dedicada al fortalecimiento de la matriz energética sobre la base de las FRE, en el Proyecto n.º 189/13, Edital n.º 046/2013 CAPES/MES-CUBA: “Energías Renovables: construcción de una matriz de decisión multicriterio para opción de la matriz tecnológica”. El presente capítulo, desarrollado por profesores de la UPR, que participaron en el mismo, constituye parte de la plataforma metodológica sobre la que fue desarrollado.

Política energética en Cuba

Los portadores de energía concentrada son instrumentos de poder. La energía es un factor fundamental tanto para la subsistencia como para el propio desarrollo.

La política energética cubana ha estado encaminada, desde 1959 a la búsqueda de opciones energéticas que permitan la satisfacción de las necesidades de todos los cubanos, sin ninguna excepción.

Concebir una adecuada política energética resulta vital para mejorar el desempeño económico, social y ambiental del país en esta importante arista del desarrollo, y ser a la vez consecuente con

los patrones que tienden a la sostenibilidad que demanda el siglo XXI, dando cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente a su objetivo 7 dirigido a garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (NACIONES UNIDAS; CEPAL 2018). Cuba hace suya las metas de avanzar hacia el 2030 trabajando por aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas y de mejorar la eficiencia energética.

En el contexto de la actualización del modelo de desarrollo económico y social cubano se evidencia la voluntad política de fomentar los procesos de gestión de la matriz energética, expresada en la Conceptualización del Modelo, el PNDES hasta 2030 y los Lineamientos aprobados en el VI y VII Congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC).

Específicamente uno de los principios rectores del PNDES hasta el año 2030, reconoce la aspiración del país de transformar eficientemente la matriz energética mediante el incremento de la participación de las fuentes renovables, así como de otros recursos energéticos nacionales y el empleo de tecnologías de avanzada, con el propósito de consolidar la sostenibilidad del sector y, en consecuencia, de la economía nacional (CUBA, 2014a).

Por otra parte, en el eje estratégico de infraestructura del mencionado Plan, se plantea como uno de sus objetivos específicos garantizar, en condiciones de sostenibilidad ambiental, un suministro energético adecuado, confiable, diversificado y moderno que aumente sustancialmente el porcentaje de participación de las FRE en la matriz energética nacional, esencialmente de la biomasa, eólica y fotovoltaica.

En el periódico Granma, órgano oficial de la República de Cuba, del 31 de agosto del 2018, se reconocía el papel que desempeña la actual política del Estado cubano dirigida al desarrollo paulatino de las FRE. Se refleja además, el propósito de incrementar la participación de las FRE en la generación eléctrica desde un 4 hasta un 24%; producir 7 316 Gigawatts/hora (GW/h) al año con esas fuentes; sustituir 1,75 millones de toneladas de combustible por año y dejar de emitir a la atmósfera seis millones de toneladas de dióxido de carbono, también anualmente (MARTÍNEZ GARCÍA, 2018).

De acuerdo con Bravo Hidalgo (2015), en la isla existen unas 30 mil instalaciones que utilizan FRE, más de 10 mil molinos de viento, unas 500 plantas de biogás, 9 mil calentadores solares y un número

semejante de sistemas fotovoltaicos. Durante el 2011 y 2012, los aerogeneradores y las hidroeléctricas evitaron el uso de más de 43 mil toneladas de combustible y el envío a la atmósfera de 139 mil toneladas de dióxido de carbono.

Como parte del marco normativo y jurídico que rige la política energética del país, en 2019 fue aprobado el Decreto-Ley n.º 345 sobre el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía. Entre sus principales contribuciones contempla incrementar la eficiencia energética, el aprovechamiento de las FRE y su participación en la generación de electricidad, la estimulación de la inversión así como la sustitución progresiva de los combustibles fósiles que conduzca a un cambio en la estructura de la matriz energética, reduciendo así la dependencia de los combustibles fósiles importados, los costos energéticos y la contaminación ambiental (CUBA, 2019).

Para tales fines en el contexto cubano, se significa el papel de Cubasolar, organización, que tiene como función esencial, contribuir a desarrollar una conciencia energética y de respeto ambiental. Mantiene un trabajo proyectado hacia las comunidades y los centros de educación, investigación, producción o servicios, impulsando los planes y programas referentes a las energías renovables y la protección ambiental mediante una fluida relación con organismos y organizaciones nacionales e internacionales.

Objetivos estratégicos

La “Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la energía 2014 – 2030”, fue aprobada el 21 de junio del 2014 por el Consejo de Ministros y presentada a la Sesión de la Asamblea Nacional del mes de julio del mismo año. Constituyen objetivos estratégicos los siguientes (CUBA, 2014b, p. 5):

1. Transformar la estructura de las fuentes energéticas empleadas en la generación y el consumo de electricidad:
 - a. Incrementando la participación de las FRE.
 - b. Diversificando la estructura de los combustibles fósiles empleados.
2. No incrementar la dependencia de las importaciones de combustible para la generación de electricidad.

3. Elevar la eficiencia en la generación y el consumo de la electricidad, logrando la reducción de los costos del kWh entregado por el Sistema Electroenergético Nacional (SEN).
4. Elevar la sustentabilidad medio ambiental de la economía y reducir la contaminación.

Principios generales

La Política respalda el PNDES hasta el 2030, en el cual se establece entre sus principios rectores, transformar y desarrollar, de forma acelerada y eficiente, la matriz energética a partir del incremento de la participación de las fuentes renovables y los otros recursos energéticos nacionales y el empleo de tecnologías de avanzada con el propósito de consolidar la eficiencia y sostenibilidad del sector y, en consecuencia, de la economía nacional (CUBA, 2014a).

En consonancia, los principios generales que rigen la Política Energética en Cuba en este período establecen lo siguiente (CUBA, 2014b, p. 7):

1. El Programa de Desarrollo Económico del país a largo plazo deberá tener como uno de sus objetivos estratégicos, la modificación de las matrices de generación y consumo de electricidad.
2. La elevación de la eficiencia energética y el ahorro tendrán la primera prioridad.
3. La utilización de las FRE deberá proyectarse, tanto en la generación conectada al SEN, como en la reducción de la demanda de energía de los consumidores, incluyendo la entrega de energía por los mismos.
4. Las fuentes de financiamiento para las inversiones deberán ser externas, con una adecuada combinación de créditos gubernamentales y de inversión extranjera directa.
5. El repago de las inversiones será responsabilidad de las empresas. En el caso de las inversiones destinadas a la generación de electricidad, la fuente de repago del financiamiento será la venta de energía al SEN por parte del productor, la que tendrá su correspondiente liquidez a partir de la creación de un mecanismo financiero que asegure el desarrollo autónomo de la actividad.

6. Promover la inversión extranjera con una escala de incentivos gradualmente ascendente, en función de su contribución y de los beneficios que aporte al país.
7. Desarrollar en el sector no residencial una política activa e integral dirigida al uso racional y eficiente de la energía, con un marco regulatorio que incentive el mejoramiento de la eficiencia y el uso de las FRE.
8. Para el sector residencial se estimulará la reducción del consumo, estableciendo un régimen especial de incentivos que incluya una política crediticia y de precios para estimular la adquisición por la población de equipos eficientes y que utilicen las FRE.
9. Para alcanzar los niveles requeridos de eficiencia en la generación y de penetración de las FRE, se incorporarán acciones para el aplanamiento de la curva de carga y la adecuación del SEN a las nuevas condiciones de operación.
10. Las prioridades inversionistas del programa, se establecerán considerando como criterio económico principal, el costo-beneficio país de los proyectos.
11. Se priorizará la instalación de parques eólicos, por el corto período de recuperación de la inversión.
12. El desarrollo de la industria azucarera tendrá un enfoque energético integral y flexible, en función del comportamiento del mercado, maximizando la disponibilidad y eficiencia en la utilización del bagazo y el rendimiento económico general de la agroindustria azucarera.
13. Se priorizará la utilización del Gas Natural Licuado (GNL) en el completamiento de las capacidades existentes con ciclos combinados, como alternativa para la diversificación de la matriz energética, la elevación de la eficiencia y posibilitar una operación más confiable y económica del SEN (con el mismo gasto de energía que se generan 100 kWh en una termoeléctrica, se obtienen en un ciclo combinado 150 kWh).
14. Aprovechar al máximo las potencialidades del país en energía hidráulica en las obras existentes y en las futuras.
15. La política industrial del país deberá tener como un objetivo

estratégico la producción por la industria nacional de piezas de repuesto, equipos y medios para desarrollar las FRE y para la elevación de la eficiencia en el uso de la energía eléctrica.

16. Se deberán adoptar las medidas que aseguren una alta vitalidad del SEN, incluyendo la optimización de la eficiencia en la quema del crudo cubano.
17. Se promoverá el aprovechamiento de los residuos de cosecha y desechos, que puedan ser utilizados como FRE.
18. Promover acciones para el aprovechamiento de las energías renovables en la Zona Especial de Desarrollo del Mariel.

Acciones futuras

Para el cumplimiento de los objetivos establecidos en esta política, así como sus principios generales, deberán ejecutarse las siguientes acciones (CUBA, 2014b, p. 9):

1. Para transformar la matriz de generación de electricidad, incrementando el nivel de generalización de las FRE:
 - a. Instalación de 755 MW con Bioeléctricas en 19 centrales azucareros, con un costo de importación estimado de 1 290 MM USD y un tiempo de recuperación de la inversión de 6 a 8 años.
 - b. Instalación de 633 MW de energía eólica en las 13 ubicaciones ya estudiadas, con un costo de importación estimado de 1 120 MM USD y un tiempo de recuperación de 4 a 6 años.
 - c. Instalación de 700 MW en parques solares fotovoltaicos, con un costo de importación estimado de 1050 MM USD y un tiempo de recuperación de 11 a 13 años.
 - d. Instalación de 56 MW en hidroenergía, con un costo de importación estimado de 110 MM USD.
 - e. Preparación de la infraestructura de la industria nacional para la producción de piezas y equipos de las FRE. Se estima un costo de 150 MM USD.

De mantenerse la estructura actual de consumo horario, con las tecnologías disponibles actualmente y con los resultados obtenidos en los estudios realizados hasta el momento, la participación alcanzable, en el año 2030, de las FRE en la generación eléctrica, se estima en un 24%.

Se considera que la ejecución de las acciones anteriormente descritas, permitirán producir en el 2030, 7 mil 316 GWh, lo que sustituirá 1,75 millones de toneladas de combustible. La realización de las mismas demanda recursos para cubrir costos de importación estimados en 3700 millones de USD.

2. Para la reducción de la demanda y el consumo se propone instalar hasta el 2022:
 - a. En el sector residencial: 13 millones de lámparas LED, 2 millones de cocinas de inducción en sustitución de las hornillas de resistencia y 100 mil m² en calentadores solares, con un costo de inversión estimado de 300 millones de USD.
 - b. En el sector no residencial: 250 mil lámparas LED en el alumbrado público y 100 mil m² en calentadores de agua industriales, con un costo de inversión estimado de 80 millones de USD.
3. Para mantener la vitalidad del SEN y diversificar la matriz electroenergética, deberán ejecutarse, además, las siguientes acciones:
 - a. Instalación de 4 unidades de 200 MW que posibilitarán quemar el crudo nacional con más eficiencia, sustituyendo las unidades de 100 MW obsoletas, con vida útil vencida e insatisfactorio estado técnico, cuyo costo de inversión se estima en 1500 millones de USD.
 - b. Ejecución del Proyecto GNL que recuperará 120 MW en ENERGAS y posibilitará además el incremento eficiente de la capacidad de generación en 100 MW, con un costo de inversión estimado de 650 millones de USD.
4. A partir del año 2025 y hasta el 2030, se estima un incremento en la capacidad de generación para satisfacer la demanda, del orden de los 450 MW, que para cubrirlos se evaluarán 3 alternativas:
 - a. Incremento de la penetración de las FRE.
 - b. Uso del carbón.
 - c. Ciclos combinados con GNL.

Estas variantes se analizarán como parte del estudio de desarrollo del SEN. La puesta en práctica de las acciones detalladas en los puntos 1, 2 y 3 permitirá:

- a. Elevar al 24% la participación de las FRE en la generación de energía eléctrica.
- b. Introducir el uso del GNL, en ciclos combinados, generando el 21% de la energía total.
- c. Reducir la proporción en el total de la generación de electricidad con combustibles importados, en un 2% aproximadamente.
- d. Reducir en un 13% el costo del kWh entregado.
- e. Reducir la contaminación medioambiental por el incremento de la generación con FRE.

Estas acciones demandan un financiamiento para inversiones estimado en 6 200 millones de USD.

Por su parte, los Lineamientos de la Política Económica y Social para el período 2016-2021 expresan con claridad en su Capítulo VIII: “Política Industrial y Energética”, en sus lineamientos 197 al 208, las metas que se propone alcanzar el país en materia de política energética (CUBA, 2017a, p. 35):

197. Elevar la producción nacional de crudo y gas acompañante, desarrollando los yacimientos conocidos e incorporando la recuperación mejorada. Acelerar los estudios geológicos encaminados a poder contar con nuevos yacimientos, incluidos los trabajos de exploración en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México.
198. Elevar la eficiencia y el rendimiento del sistema de refinación en Cuba, que permita incrementar los volúmenes de productos de mayor valor agregado.
199. Elevar la eficiencia en la generación eléctrica, dedicando la atención y recursos necesarios al mantenimiento de las plantas en operación, y lograr altos índices de disponibilidad en las plantas térmicas y en las instalaciones de generación con grupos electrógenos.
200. Ejecutar el programa de construcción, montaje y puesta en marcha de nuevas capacidades de generación térmica y prestar atención priorizada al completamiento de las capacidades de generación en los ciclos combinados de Boca de Jaruco y Varadero.
201. Mantener una política activa en el acomodo de la carga eléctrica, que disminuya la demanda máxima y reduzca su impacto sobre las capacidades de generación.

202. Proseguir el programa de rehabilitación y modernización de redes y subestaciones eléctricas, de eliminación de zonas de bajo voltaje, para lograr los ahorros planificados por disminución de las pérdidas en la distribución y transmisión de energía eléctrica. Avanzar en el Programa aprobado de electrificación en zonas aisladas del SEN, en correspondencia con las necesidades y posibilidades del país, utilizando las fuentes más económicas.
203. Fomentar la cogeneración y trigeneración en todas las actividades con posibilidades.
204. Acelerar el cumplimiento del Programa aprobado hasta 2030 para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía.
205. Se priorizará la identificación permanente del potencial de ahorro en el sector estatal y privado, así como la ejecución de acciones para su captación.
206. Concebir las nuevas inversiones, el mantenimiento constructivo y las reparaciones capitalizables con soluciones para el uso eficiente de la energía, instrumentando adecuadamente los procedimientos de supervisión.
207. Perfeccionar el trabajo de planificación y control del uso de los portadores energéticos, ampliando los elementos de medición y la calidad de los indicadores de eficiencia e índices de consumo establecidos.
208. Proyectar el sistema educativo y los medios de comunicación masiva en función de profundizar en la calidad e integralidad de la política enfocada al ahorro y al uso eficiente y sostenible de la energía.

La creación en 2019 del Grupo Nacional de Universidades para las FRE y la Eficiencia Energética, mediante la Resolución n.º 66/2019, y el seguimiento de más de 150 convenios de colaboración con el Ministerio de Educación Superior (MES) y universidades, son ejes estratégicos para el desarrollo y solución de problemas en el sector energético nacional.

Caracterización de la situación energética cubana

En Cuba, el sector energético constituye un factor clave que necesita con urgencia reducir su alta dependencia de los combustibles fósiles importados para la generación de electricidad y salvaguardar los recursos financieros internos. Este es uno de los problemas centrales que obstaculizan el desarrollo social y económico del país, por lo cual representa un tema prioritario. El gobierno es cada vez más consciente de que el problema energético requiere del uso de sus propias fuentes renovables y, paralelamente, mediante la introducción y aplicación de tecnologías y medidas apropiadas, mejorar la eficiencia energética en todos los sectores de la sociedad. Actualmente el 4,3% de la electricidad del país se produce mediante fuentes renovables. Esta se genera en un total de 53 279 instalaciones (calentadores solares: 30 988; paneles solares: 9 476; molinos de vientos: 9 343; plantas de biogás: 3 243; instalaciones hidroeléctricas: 147; centrales azucareros: 56; parques solares: 22; parques eólicos: 4) (CUBA, 2017b).

Se evidencia una alta incidencia del sector residencial en la estructura del consumo de electricidad, destacando el hecho que la venta de electricidad en Cuba ha estado fuertemente subsidiada por el Estado, unido a una baja eficiencia en la generación térmica (MARTÍNEZ HERNÁNDEZ; VILARDELL, 2016).

Asimismo, las características actuales de la curva de carga diaria, limitan la eficiencia de la generación del SEN y la utilización del potencial de las FRE. Este aspecto está fuertemente influenciado por el alto peso de la demanda del sector residencial durante el horario de mayor demanda energética. En el caso cubano, otro elemento distintivo lo constituye la composición de la generación, formada por grandes termoeléctricas con limitaciones técnicas, además de la ausencia de capacidades para acumular dicha energía (MARTÍNEZ HERNÁNDEZ; VILARDELL, 2016).

En este sentido, el país posee un insuficiente aprovechamiento de la inversión extranjera, así como no dispone de una actualización de su cartera de proyectos, lo cual afecta la obtención de financiamiento para tales propósitos. Por su parte, la industria nacional enfrenta limitaciones de piezas de repuesto y equipos para garantizar un adecuado funcionamiento de las FRE, así como

un reducido número de empresas que pueden ofrecer servicios de ingeniería energética y sus correspondientes estudios de factibilidad. A todo ello se une que algunos sectores como la industria azucarera se caracterizan por una baja eficiencia y elevados índices de consumo.

De esta forma, los problemas fundamentales de la energía y sus causas en Cuba pueden resumirse en (CUBA, 2015, p. 31):

1. Alta dependencia de combustibles importados para la generación.
2. Alto costo promedio de la energía entregada.
3. Alta contaminación ambiental.

Entre sus principales causas se encuentran:

1. Baja utilización de las FRE.
2. Baja eficiencia de la generación térmica.
3. Altas pérdidas en las redes de distribución.

Matriz energética actual 2017

Al cierre de 2017, según datos ofrecidos por la Oficina Nacional para el Control del Uso Racional de la Energía (ONURE), la generación total de energía en Cuba alcanzó la cifra de 19 365 GW/año (ONURE, 2018).

En relación a la composición y tipología de las diversas fuentes que componen la matriz energética actual, la Gráfico 1 muestra su caracterización al cierre de diciembre de 2017.

Como se aprecia en esta figura, la generación actual se basa principalmente en el uso de fuentes convencionales, con una participación del 95,5%. Entre ellas, se destaca el crudo, con un 45%, seguida por los motores fuel (18%), Fuel térmicas (15,1%), Gas acompañante (14,1%) y Diesel (3,3%). Con respecto a la generación proveniente de FRE, apenas se cuenta con un 4,5% de la generación total, que corresponde a la biomasa, con una contribución del 3,7%, Hidráulica (0,5%), Solar Fotovoltaica (SFV) con un 0,2% y la Eólica con un 0,1%.

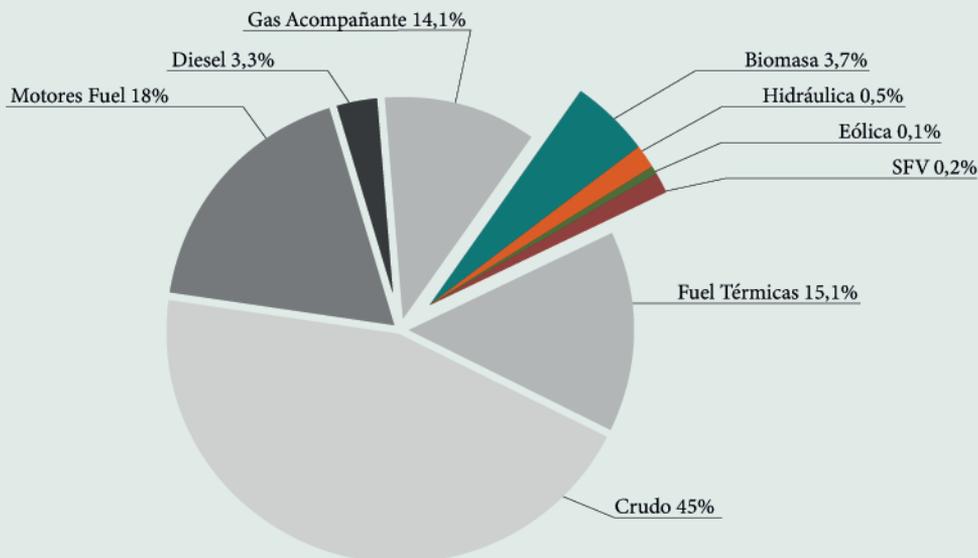


Gráfico 1 – Estructura de generación de energía en Cuba 2017

Fuente: Cuba... (2014) e ONURE (2018).

Matriz energética proyectada para 2030

De acuerdo con informaciones ofrecidas por funcionarios del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Ministerio de la Agricultura (MINAG) y el Grupo Azucarero AZCUBA, miembros de la Comisión Gubernamental para la elaboración de la “Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía” para el período 2014-2030, se plantea que las inversiones necesarias en el desarrollo de las FRE ascienden a 3 700 millones de dólares. En este sentido su financiamiento será a partir de créditos gubernamentales conveniados con otros países y la inversión extranjera directa (CUBA, 2014).

El 60% del incremento del consumo de electricidad se prevé que pueda cubrirse con las FRE. Por su parte, el consumo de electricidad en el sector residencial crece con un promedio anual del 2,6%, considerando el efecto del gas licuado del petróleo (GLP) liberado (un 4% sin tener en cuenta el GLP liberado) mientras que el sector estatal crece con un promedio anual del 4% (CUBA, 2017c).

Se estima que para el año 2030, la generación total de energía en Cuba alcance la cifra de 30 000 GW/año, lo que equivale a 10 635 GW/año por encima de la generación actual (ONURE, 2018).

Esta proyección se fundamenta en un sustantivo incremento del empleo de FRE, establecido como una política prioritaria del Estado, cuya aspiración consiste en alcanzar el 24% de la generación total. En la Gráfico 2 se presenta la composición y tipología estimada para el año 2030.

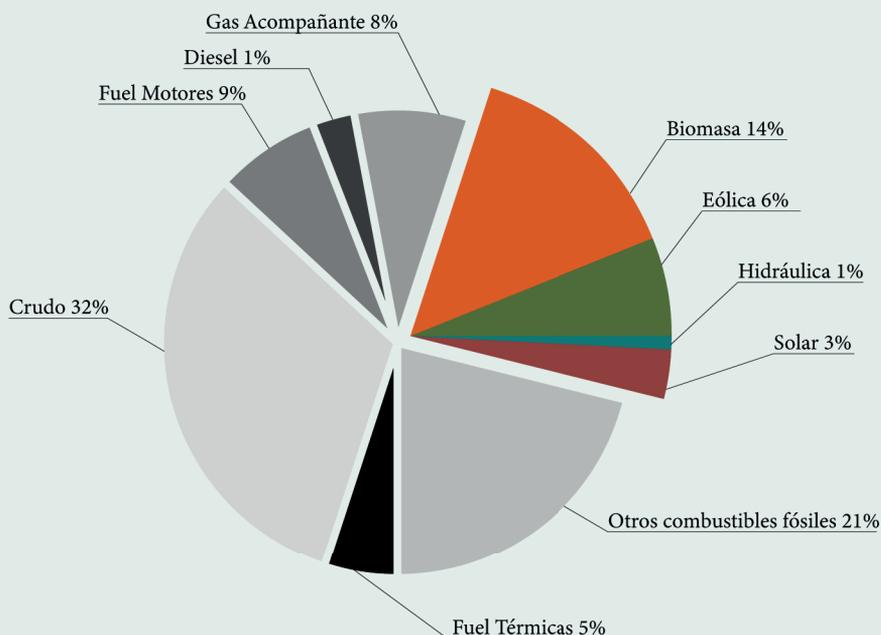


Gráfico 2 – Estructura de generación de energía en Cuba proyectada 2030

Fuente: Cuba... (2014) e ONURE (2018).

El objetivo estratégico que persigue la actual “Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía” para el período 2014–2030, tal como se observa en la Figura 2, es alcanzar la meta de un incremento aproximadamente del 20% en el empleo de las FRE. En este empeño, se destaca el papel correspondiente para la biomasa, con una contribución del 14%, seguido de la generación Eólica (6%), Solar (3%) e Hidráulica (1%).

Retos y perspectivas

Como se ha explicado con anterioridad, la política energética de Cuba proyectada para 2030 enfrenta grandes desafíos en su concepción de una reconversión de la matriz energética convencional hacia una matriz con una mayor participación de FRE.

Sin lugar a dudas, los nuevos retos suponen el enfrentamiento de una matriz energética actual con una baja utilización de fuentes

renovables y una alta dependencia de combustibles fósiles, la gran mayoría producidos en el exterior, lo cual supone su importación y por consiguiente, un elevado costo de la energía y altos valores de contaminación ambiental.

Tales retos han sido incorporados como temas de alta prioridad en los diferentes documentos que rigen el modelo económico cubano para los próximos 15 años, ellos son: La Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía 2014–2030, el PNDES hasta 2030 y los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016–2021.

Como posibles alternativas que se complementan con las prioridades establecidas en la actual política energética del país, se encuentran las siguientes (CUBA, 2017c, p. 11):

1. Posibilidad de acumulación en baterías conectadas al SEN y transporte eléctrico. Entre los posibles beneficios de esta alternativa, se encuentran los siguientes:
 - a. El transporte eléctrico acumula la energía en baterías bajo la misma lógica de las baterías conectadas al SEN.
 - b. Debido a la estructura de la generación, es conveniente cargar las baterías en todos los horarios excepto de 16 a 21 horas, en este período ocurre la máxima demanda y participan en la generación los GE Diesel y Fuel.
 - c. Las baterías conectadas al SEN participan en la regulación de la frecuencia y contribuyen con su descarga, durante el horario pico, en la sustitución de los GE diesel.
 - d. El transporte eléctrico sustituye el consumo de diesel y gasolina.
 - e. Evitan la operación en mínimo técnico de las unidades térmicas y CC.
 - f. Mejora el factor de carga del SEN.
 - g. Permiten una mayor penetración de la eólica y solar en el SEN.
2. Posibilidad de incrementar el GNL en la matriz eléctrica. Como posibles beneficios del incremento del GNL en CC, se destacan los siguientes:
 - a. Mayor eficiencia en la generación de electricidad (59% en CC vs 35% en CTE).

- b. Viabilidad económica según la proyección de los precios del gas.
 - c. Los contratos de suministro de GNL son a largo plazo y el suministro es estable.
 - d. Bajas emisiones, reducción de la contaminación ambiental.
 - e. El gas puede utilizarse en otros sectores de la economía.
3. Otros usos del gas que permiten reducir el consumo final de diesel, fuel y electricidad en el pico:
- a. Posibilidades de cogeneración y trigeneración (Generación distribuida de electricidad, generación de vapor, turbinas y motores de gas, calderas de gas, pila de combustible, uso del calor residual para climatización-trigeneración).
 - b. Mejora de la eficiencia energética (En la climatización-agua fría o caliente, la cocción de alimentos o calentar permite disminuir la máxima demanda eléctrica y mejora el factor de carga del SEN y en el transporte-emisiones limpias, bajo ruido y bajas vibraciones).

A continuación, se presentan las proyecciones y/o programas establecidos por la dirección del país para 2030 en cada una de las FRE con vistas a alcanzar dicha reconversión de la matriz energética actual.

Generación biomasa

Esta fuente de energía renovable posee un alto compromiso en las proyecciones del país para este período, pues es responsable por una contribución estimada del 14% del total de la generación de energía para 2030.

De acuerdo con datos ofrecidos por Cuba (2014), esto es posible a partir del programa de crecimiento cañero, la disponibilidad de marabú en las áreas aledañas a los centrales y su sincronización al SEN, con una infraestructura agrícola e industrial distribuida en toda la isla, lo que reduce las pérdidas de distribución.

En la Figura 1, se presenta el conjunto de proyectos que corresponden al programa de la biomasa a nivel de país para 2030:



Figura 1 – Programa de los proyectos correspondientes a biomasa

Fuente: Adaptado de ONURE (2018).

El rendimiento previsto del programa de la biomasa comprende una cantidad de 27 proyectos a ejecutar, con una potencia de 872 MW, una generación de 4300 GWh/año, una sustitución de combustible en torno de 960 Mton/año y emisiones evitadas por valor de 3,65 MMton CO₂/año. Existen 14 proyectos con potencia de 480 MW disponibles en Cartera de Oportunidades de Inversión Extranjera (ONURE, 2018).

Generación eólica

La generación de energía por medio del aprovechamiento eólico posee un compromiso del 6% de la matriz energética proyectada para 2030. Con vistas a cumplir tal propósito, se instalará una capacidad de generación de 633000 kW, se requerirán 1120 MM USD y el tiempo de recuperación previsto será de 4–6 años (CUBA..., 2014).

La Figura 2 muestra los proyectos que corresponden al programa de la energía eólica a nivel de país para 2030, destacando que, dadas sus especificidades con relación a los vientos, las principales posibilidades están en el norte de Ciego de Ávila, Camagüey, la Tunas, Holguín y en el municipio Maisí de la provincia de Guantánamo:



Figura 2 – Programa de los proyectos correspondientes a la generación eólica

Fuente: Adaptado de ONURE (2018).

La generación eólica posee un rendimiento que comprende una cantidad de 13 proyectos a ejecutar, con una potencia de 656 MW, una generación de 1968 GWh/año, una sustitución de combustible de 540 Mton/año y emisiones evitadas por valor de 1,67 MMton CO₂/año. Como un dato interesante se tiene que en el año 2017, la energía producida por medio de esta fuente fue de 20,4 GWh (ONURE, 2018).

Generación Solar Fotovoltaica

Por su parte, la energía SFV posee un compromiso del 3% de la matriz energética estimada para 2030. Para ello, se acuerdo con informaciones ofrecidas por Cuba... (2014) y ONURE (2018), se prevé instalar una capacidad de 700 000 kW, con un costo de la inversión de 1050 MM USD y un tiempo recuperación de 11-13 años.

En este programa, se tendrán presentes las primeras experiencias en el uso de esta tecnología en pequeños sistemas conectados al Sistema Eléctrico y en más de 8 000 sistemas aislados, según informa la Cuba... (2014).

Como muestra de los proyectos que serán realizados en este programa, la Figura 3 ofrece la distribución de los diferentes establecimientos a nivel de país:

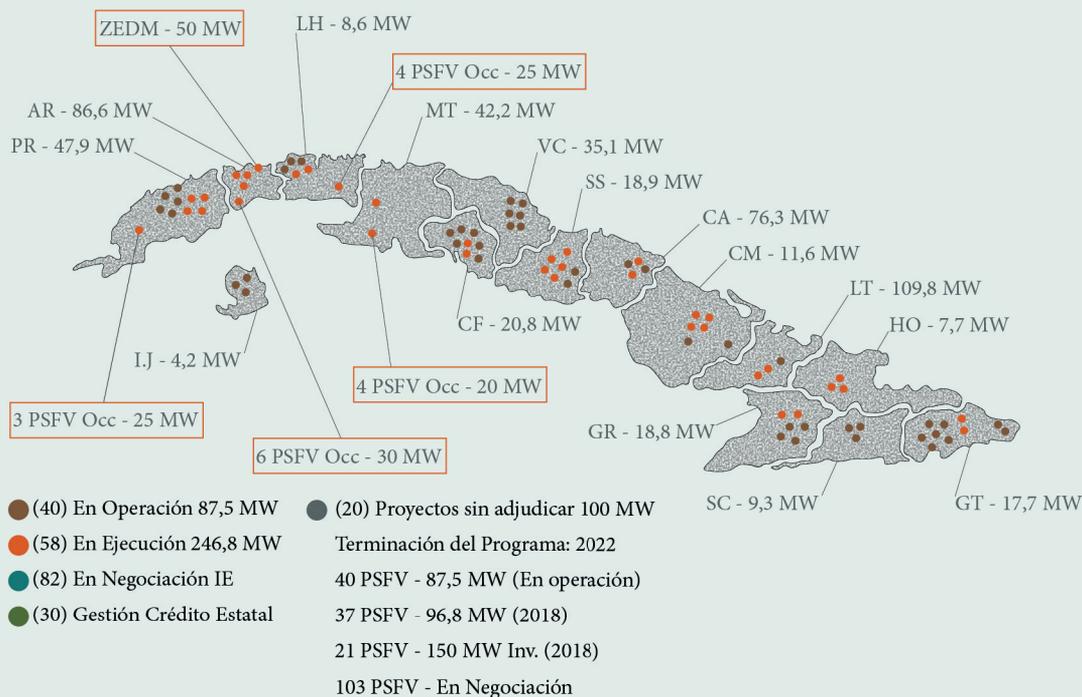


Figura 3 – Programa de los proyectos asociados a la energía SFV

Fuente: Adaptado de ONURE (2018).

El programa de la generación SFV posee un rendimiento previsto que alcanza un total de 210 proyectos a ejecutar, con una potencia de 700 MW, una generación de 1050 GWh/año, una sustitución de combustible de 240 Mton/año y emisiones evitadas por valor de 0,89 MMton CO₂/año. Resulta importante señalar que en el año 2017, la energía producida por medio de esta fuente alcanzó los 60,9 GWh (ONURE, 2018).

Generación hidroenergía

Según datos ofrecidos por Cuba... (2014), en el país se encuentran funcionando 147 instalaciones de generación con energía hidráulica, de ellas 30 están conectas al Sistema Eléctrico y 117 están aisladas, las cuales brindan servicio a 8 486 viviendas y 416 objetivos económicos y sociales.

Esta fuente renovable de energía posee un compromiso del 1% en la matriz estimada para el año 2030. Para lograr dicho propósito, se instalará una capacidad de 56 000 kW, con un costo de la inversión de 110 MM USD y un tiempo de recuperación de 4–6 años (CUBA..., 2014; ONURE 2018).

En la Figura 4 se presentan los proyectos correspondientes al programa de hidroenergía y su distribución a nivel de país:

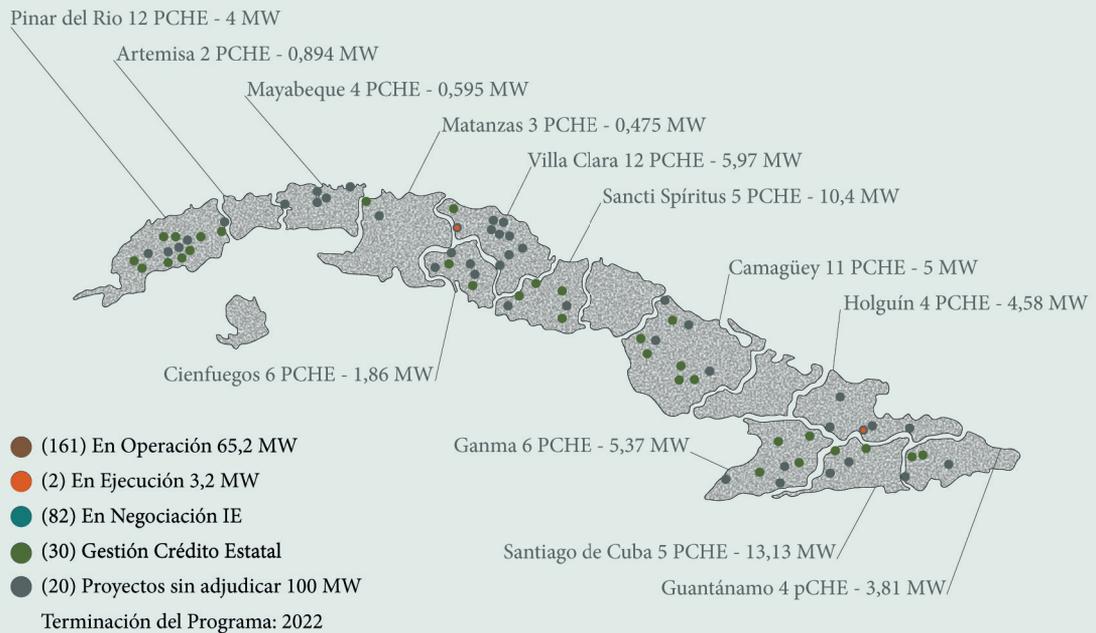


Figura 4 – Programa de los proyectos correspondientes a hidroenergía

Fuente: Adaptado de ONURE (2018).

Como parte del rendimiento previsto por parte del programa de hidroenergía, se tiene una potencia estimada de 56 MW, una generación de 350 GWh/año, una sustitución de combustible de 72 Mton/año y emisiones evitadas por valor de 0,297 MMton CO₂/año. En lo que respecta a esta fuente, la energía producida en el año 2017 alcanzó los 83 GWh. Actualmente 38 MW se encuentran pendientes de negociación (ONURE, 2018).

Generación biogás

Estudios realizados por Rosas-Naranjo *et al.* (2011) señalan que Cuba se encuentra entre los países latinoamericanos de mayor potencial bioenergético aprovechable de residuales agropecuarios. Según estos investigadores, su potencial de biogás se estimaba en el orden de 152 mil toneladas de combustible convencional por año, proveniente de unos 78 millones de m³ al año de vertimientos y biodegradables.

Por su parte, Ceballos (2014) explica que el país cuenta con aproximadamente 1 000 biodigestores, entre el sector estatal y el cooperativo-campesino y afirma que esta fuente renovable de energía

constituye una de las principales alternativas para el reaprovechamiento de los residuos sólidos, además de ser utilizado como bioabono en la agricultura orgánica.

Asimismo, Suárez-Hernández *et al.* (2018) estimaron que el potencial de producción en las industrias alimentaria y azucarera de Cuba alcanzaba un valor diario de biogás es de 674 609 m³/día con 127 563 toneladas equivalentes de petróleo al año cuyo potencial de emisiones a evitar por la sustitución de este combustible fósil se estima en 440 779 t CO₂eq/año.

La Figura 5 muestra la distribución espacial de las plantas industriales que serán instaladas en todo el país como parte del programa:

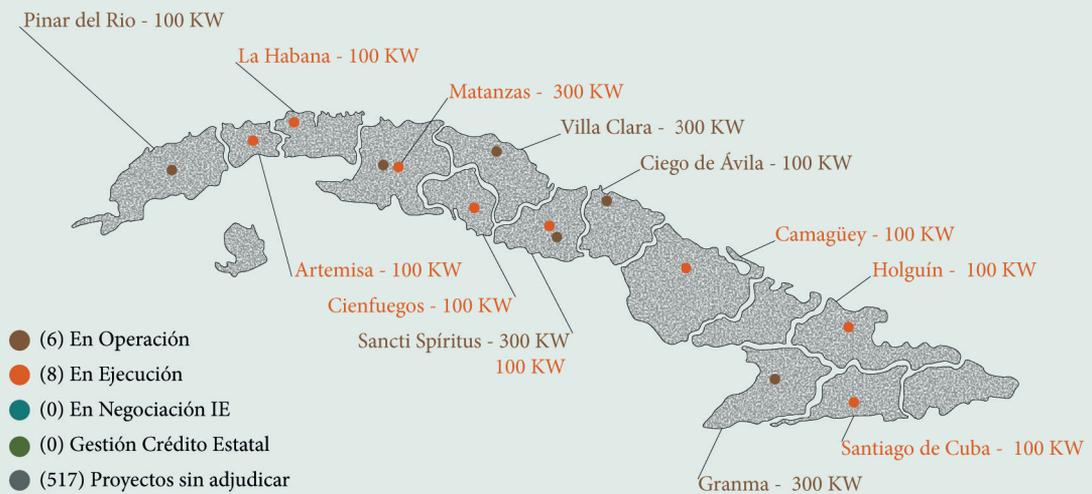


Figura 5 – Programa de los proyectos correspondientes a biogás
Fuente: ONURE (2018).

El rendimiento previsto para el programa de biogás alcanza un total de 531 proyectos a ejecutar, con una potencia de 50 MW, una generación de 57 GWh/año, una sustitución de combustible de 15 Mton/año y emisiones evitadas por valor de 48 MMton CO₂/año. En relación a esta fuente de energía, existen 517 proyectos con una potencia de 47,8 MW pendientes de ejecución (ONURE, 2018).

Conclusiones

1. La actualización del modelo de desarrollo económico y social cubano, evidencia la voluntad política de fomentar los procesos de gestión de la matriz energética, como confirma el PNDES hasta el 2030.

2. Cuba aspira en el 2030 a incrementar el empleo de FRE hasta el 24% y mejorar la eficiencia energética.
3. Garantizar, en condiciones de sostenibilidad ambiental, un suministro energético adecuado, confiable, diversificado y moderno que aumente sustancialmente el porcentaje de participación de las FRE en la matriz energética, resulta un objetivo clave para el país.
4. La política energética cubana pretende incrementar la eficiencia energética y el aprovechamiento de las FRE, para inducir de forma progresiva un cambio en la estructura de la matriz energética, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles importados, los costos energéticos y la contaminación ambiental.
5. En la transformación de la matriz energética cubana, el país prioriza esencialmente la biomasa, con una contribución del 14%, seguido de la eólica con un 6%, y la SFV con un 3%.
6. Se avanza en el desarrollo de una conciencia energética que involucre a toda la población, comunidades, centros de educación, investigación, producción o servicios, impulsando los planes y programas referentes al significado de las energías renovables en el contexto ambiental actual.
7. Las universidades juegan un rol esencial en la formación de una cultura ambiental que potencie la dimensión de las energías renovables en la misma.
8. El Proyecto n.º 189/13, del Programa CAPES/MES-CUBA (Edital n.º 046/2013): “Energías Renovables: construcción de una matriz de decisión multicriterio para opción de la matriz tecnológica”. constituye una herramienta metodológica para el impulso del empleo de las FRE en la provincia de Pinar del Río, Cuba.

Referências

BAZILIAN, M.; NAKHOODA, S.; VAN DE GRAFF, T. Energy governance and poverty. **Energy Research & Social Science**, [s. l.] v. 1, p. 217–225, 2014.

BRAVO HIDALGO, D. Energía y desarrollo sostenible en Cuba. **Revista Centro Azúcar**, Santa Clara, v. 42, n. 4, p. 14-25, 2015.

CEBALLOS, A. Biogás, para el beneficio del medio ambiente y la población. **Ganma**, La Habana, 8 jul. 2014. Disponible en: <http://www.granma.cu/cuba/2014-07-08/biogas-para-el-beneficio-del-medio-ambiente-y-la-poblacion>. Acceso el: 15 mayo 2017.

COYA DE LA FUENTE, L. Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social al 2030. Visión de la Nación, Ejes y Sectores Estratégicos. **Eje estratégico: recursos naturales y medio ambiente**. La Habana, 2019. Disponible en: <https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/2.1plan-nacional-2030-citma.pdf>. Acceso el: 20 feb. 2019.

CUBA. Asamblea Nacional del Poder Popular. **Lineamientos de la Política económica y social del partido y la revolución para el período 2016-2021**. La Habana, 2017a.

CUBA. Consejo de Ministros de la República de Cuba. **Aspectos fundamentales de las bases para la elaboración del Plan de Desarrollo Económico y Social 2016-2030**. La Habana, Acuerdo 9/14, 2014a.

CUBA. Consejo de Ministros de la República de Cuba. **Política para el desarrollo prospectivo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía, período 2014 – 2030**. La Habana, 2014b.

CUBA apuesta por una energía más limpia, diversa y eficiente. **Cubadebate**, La Habana, 14 de agosto, 2014. Disponible em: <http://www.cubadebate.cu/especiales/2014/08/14/cuba-apuesta-por-una-energia-mas-limpia-diversa-y-eficiente/>. Acceso el: 20 oct. 2018.

CUBA. Ministerio de Energía y Minas. **Desarrollo de capacidades para la integración de objetivos de desarrollo sostenible de energía, metas e indicadores en los Programas Nacionales de Estadísticas en Países de América Latina**. Oficina Nacional de Estadística e Información. Panamá, 4-6 febrero, 2015. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/13097Cuba.pdf>. Acceso el: 15 marzo 2019.

CUBA. Ministerio de Comercio Exterior e Inversión extranjera. **Car-
tera de Oportunidades de Inversión Extranjera**. 2017-2018. 2017b.

CUBA. Ministerio de Energía y Minas. **Visión energía Cuba 2030**.
La Habana: Ministro de Energía y Minas, 20 dic. 2017c.

CUBA. Ministerio de Justicia. Decreto-Ley n.º 345. Del desarrollo de
las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía. **Gaceta Oficial
de La República de Cuba**, La Habana, año, 117, n. 95, p. 2123-2128,
28 nov. 2019.

MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, A.; VILARDELL, M. C. Las políticas
públicas energéticas en Cuba, principales referentes teóricos. **Revista
de Estudios Económicos y Empresariales**, [s. l.], n. 28, p. 91-110, 2016.

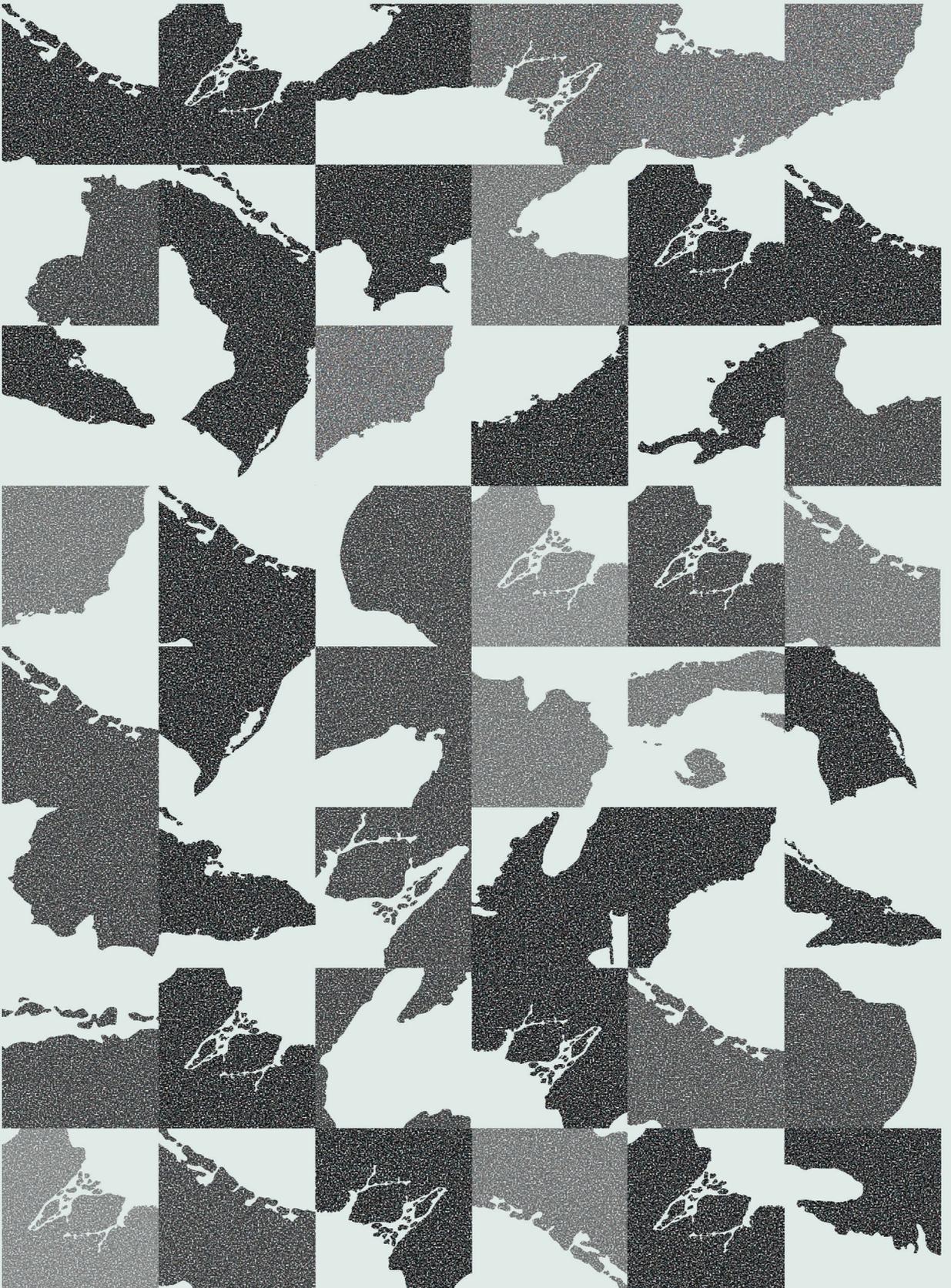
MARTÍNEZ GARCÍA, Y. Por más energía renovable en Cuba.
Granma, La Habana, 31 agosto 2018. Disponible en: [http://www.
granma.cu/cuba/2018-08-31/por-mas-energia-renovable-en-
cuba-31-08-2018-10-08-49](http://www.granma.cu/cuba/2018-08-31/por-mas-energia-renovable-en-cuba-31-08-2018-10-08-49). Acceso el: 5 sept. 2018.

NACIONES UNIDAS; CEPAL. **La Agenda 2030 y los Objetivos de
Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el
Caribe**. Santiago de Chile : CEPAL, 2018. Disponible en: [https://repo-
sitorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf).
Acceso el: 22 dic. de 2018.

ONURE. **Estado y Futuro de las Energías Renovables y la Eficiencia
Energética en Cuba, 2018**. Matanzas, 12 jun. 2018. Ponencia presen-
tada en el taller sobre uso de fuentes renovables de energía.

ROSAS-NARANJO, J. *et al.* Potencialidades del empleo de la cachaza
en la empresa azucarera “30 de noviembre” para la obtención de
biogás. **Revista Científica Avances**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1-11, 2011.

SUÁREZ-HERNÁNDEZ, *et al.* Evaluación del potencial de produc-
ción del biogás en Cuba. **Pastos y Forrajes**, Matanzas, v. 41, n. 2, p.
79-85, 2018.



Empreendimentos do setor elétrico: estudo comparativo entre a regulação brasileira e cubana sobre meio ambiente e uso dos recursos naturais

Ana Paula Myszczyk
Christian Luiz da Silva

Introdução

O presente capítulo tem como objetivo refletir, a partir da perspectiva do direito comparado, os entraves regulatórios do Brasil e de Cuba, examinando os caminhos trazidos pelos países na mediação do conflito entre desenvolvimento econômico e proteção do meio ambiente e seus reflexos nos empreendimentos do setor elétrico. Considerando os objetivos propostos, a pesquisa será desenvolvida com base no direito comparado e mediante método da pesquisa bibliográfica e documental. Serão organizadas as informações sobre a legislação brasileira e cubana aos objetos do estudo. Neste matiz, por óbvio, este capítulo não tem a pretensão nem condição de esgotar tão relevante e extenso assunto aqui albergado. É apenas um recorte de um fecundo campo para novos estudos.

O contexto regulatório brasileiro e cubano para a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento do setor elétrico

Para a realização da análise comparativa foram escolhidas três regulações chaves do sistema jurídico brasileiro e cubano: a Constituição Federal – por ser a base regulatória fundamental do país –, a principal regulação sobre meio ambiente e a mais importante regulação sobre o uso de energias do país.

Regulação brasileira, meio ambiente, Plano Nacional de Energia e empreendimento elétricos

A Constituição da República Federativa do Brasil (1988), no art. 3.º, inciso II, estabelece, entre os objetivos do Estado brasileiro, a garantia do desenvolvimento nacional, sob a perspectiva da sustentabilidade, agregando-se o desenvolvimento econômico e a proteção ambiental (BRASIL, [2016]).

Com base nisso, dedica o capítulo VI à tutela do meio ambiente, onde se impõe o princípio do desenvolvimento sustentável (BRASIL, [2016]). Para dar conta da proteção ambiental, o país adotou uma série de políticas públicas específicas para as áreas da energia e meio ambiente, entre essas, a Política Nacional do Meio Ambiente. Essa política pública de Estado tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar as condições para o desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981).

Por outro lado, o Plano Nacional de Energia (PNE) brasileiro estabelece que, em relação a expansão da infraestrutura, a responsabilidade legal pelo planejamento da Matriz Energética Nacional (MEN) cabe ao Ministério de Minas e Energia. Consideram-se a MEN 2030 e o PNE os principais instrumentos de apoio na simulação de diferentes cenários de mercado, no intuito de orientar os *policymakers* na avaliação de restrições, gargalos estruturais, vulnerabilidades sistêmicas, riscos e oportunidades de negócios, direcionamento de políticas públicas e o impacto da rígida legislação ambiental brasileira sobre projetos de grande porte.

O horizonte planejado na MEN 2030 considera a expansão da oferta de energia a partir do ano de 2005 até o ano de 2030 (BRASIL, 2007). Contudo, novos estudos podem e devem ser agregados para que se alcancem os objetivos propostos da maneira mais próxima da realidade possível, haja vista a complexidade em se traçar o planejamento do eixo energia.

Como premissas elementares, o Planejamento Energético Nacional Brasileiro considera: (a) o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB); (b) a expansão da oferta; (c) a eficiência energética; e (d) uma forte preocupação com a segurança energética (BRASIL, 2007).

O PNE 2030 define e analisa cenários de demanda, recursos nacionais disponíveis, possibilidades de importação, alternativas

de gerenciamento da demanda, evolução tecnológica na oferta e no consumo e, por fim, condicionantes ambientais (SANTOS; SOUZA, 2011). Foca em preparar o país para uma futura transição de matriz predominantemente hidrelétrica para a participação crescente de fontes renováveis alternativas (BRASIL, 2007).

A legislação cubana sobre meio ambiente e o uso de recursos energéticos

A base da legislação cubana é a Constitución de La República de Cuba (1976), que estabelece que, para garantir o bem-estar dos cidadãos, o Estado e a sociedade protegem a natureza.

A Ley n.º 81 de La República de Cuba, de 1997, destinada à proteção ambiental, institui que o meio ambiente é um patrimônio e um interesse fundamental da nação. Dessa forma, o Estado exerce sua soberania sobre o meio ambiente e tem o direito de aproveitar os recursos que o compõem de acordo com sua política ambiental e de desenvolvimento (CUBA, 1997).

Nessa regulação, está apontado que o meio ambiente saudável é um direito fundamental de todos os cidadãos cubanos. É dever do Estado, dos cidadãos e da sociedade em geral proteger o meio ambiente, de modo que este se conserve e se utilize de forma racional; realizar ações de reabilitação correspondentes; além de buscar a redução e eliminação de padrões de produção e consumo ambientalmente insustentáveis (CUBA, 1997).

Adota como objetivos a criação de um contexto legal que favoreça a projeção e desenvolvimento de atividades socioeconômicas de maneiras compatíveis com a proteção do meio ambiente; o estabelecimento de princípios que orientam as ações das pessoas em matéria de meio ambiente, incluindo os mecanismos de coordenação entre os diferentes organismos e agências de gestão eficiente; a promoção da participação do cidadão na proteção do meio ambiente e desenvolvimento sustentável; o desenvolvimento da consciência cidadã sobre os problemas ambientais, integrando a educação, divulgação e informação ambiental; a regularização do desenvolvimento de atividades de avaliação, controle e monitoramento do meio ambiente; e a promoção do cuidado da saúde humana, a elevação da qualidade de vida e a melhoria do meio ambiente em geral (CUBA, 1997).

O Decreto-Ley n.º 345 (CUBA, 2019) estabelece os regulamentos para o desenvolvimento de fontes renováveis e o uso eficiente da

energia. Nesse documento, prevê-se o aumento da participação das fontes renováveis de energia na geração de eletricidade; a substituição progressiva de combustíveis fósseis; a diversificação da estrutura dos combustíveis fósseis utilizados na geração de energia elétrica; o aumento da eficiência energética e da poupança; a estimulação do investimento, da investigação e da elevação da eficiência energética, bem como a produção e utilização de energia com base em fontes renováveis, por meio do estabelecimento de incentivos e outros instrumentos que estimulem o seu desenvolvimento; o desenvolvimento da produção de equipamentos, meios e peças sobressalentes pela indústria nacional, para o uso de fontes renováveis e eficiência energética; e o estabelecimento no setor estatal de um sistema de trabalho que inclua o planejamento de tarefas que possibilitem o cumprimento dos objetivos estabelecidos (CUBA, 2018).

Comparação entre Brasil e Cuba

Constituição da República de Cuba Art. 27 – Para asegurar el bienestar de los ciudadanos, el Estado y la sociedad protegen la naturaleza. Incumbe a los órganos competentes y además a cada ciudadano velar porque sean mantenidas limpias las aguas y la atmósfera, y que se proteja el suelo, la flora y la fauna.

Constituição da República Federativa do Brasil Art. 225 – Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Quadro 1 – Bases constitucionais de proteção do meio ambiente no Brasil e em Cuba
Fonte: Autoria própria, com base na compilação de Cuba (1976) e Brasil (1988).

De acordo com o que se pode observar no Quadro 1, nas duas Constituições, um meio ambiente ecologicamente equilibrado é alçado à categoria de direito fundamental e considerado um elemento essencial para a preservação e a melhora da qualidade de vida.

Outro fator de destaque é que as duas constituições reconhecem, asseguram e protegem o direito fundamental ao meio ambiente não só para a vida presente, mas também à geração futura da humanidade (REIS; RIOS, 2016). Com isso, o meio ambiente, enquanto direito fundamental, ultrapassa os limites dos direitos das pessoas da presente geração, criando um direito intergeracional e a obrigação de consideração multigeracional na análise dos conflitos.

Art. 2.º – A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

- i. ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
- ii. racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- iii. planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
- iv. proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;
- v. controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- vi. incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- vii. acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- viii. recuperação de áreas degradadas;
- ix. proteção de áreas ameaçadas de degradação;
- x. educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

Art. 1.º – La presente Ley se denomina Ley del Medio Ambiente y tiene como objeto establecer los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del Estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país.

Art. 4.º – Las acciones ambientales para un desarrollo sostenible se basan en los requerimientos del desarrollo económico y social del país y están fundadas en los principios siguientes:

- i. El Estado establece y facilita los medios y garantías necesarias para que sea protegido de manera adecuada y oportuna el derecho a un medio ambiente sano es un derecho fundamental de todos los ciudadanos.
- ii. La protección del medio ambiente es un deber ciudadano.
- iii. Los recursos naturales deben aprovecharse de manera

»

- racional, previniendo la generación de impactos negativos sobre el medio ambiente.
- iv. La prioridad de la prevención mediante la adopción de medidas sobre una base científica y con los estudios técnicos y socioeconómicos que correspondan.
 - v. Los requerimientos de la protección del medio ambiente deben ser introducidos en todos los programas, proyectos y planes de desarrollo.
 - vi. La educación ambiental se organiza y desarrolla mediante un enfoque interdisciplinario y transdisciplinario, propiciando en los individuos y grupos sociales el desarrollo de un pensamiento analítico, que permita la formación de una visión sistémica e integral del medio ambiente, dirigiendo en particular sus acciones a niños, adolescentes y jóvenes y a la familia en general.

Quadro 2 – Princípios básicos da política pública nacional brasileira e cubana de proteção do meio ambiente

Fonte: Autoria própria, com base na compilação de Brasil (1981) e Cuba (1997).

Conforme se pode observar no Quadro 2, nas políticas públicas ambientais, se percebem três pontos em comum: a adoção dos princípios de desenvolvimento sustentável e da precaução e do reconhecimento da necessidade da educação ambiental. O princípio do desenvolvimento sustentável pode ser visto como o desenvolvimento “Que atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade de as futuras gerações terem suas próprias necessidades atendidas” (ONU, 2002, p. 1).

No Quadro 3, verifica-se que a adoção, nas políticas, do princípio da precaução segue as determinações do Protocolo de Cartagena (ONU, 2003), que impõe o dever de precaução ou de abstenção de práticas que causem danos ao meio ambiente. Embora ambas as políticas adotem a educação ambiental como princípio, Guimarães (2016) destaca que esta institucionalização não está acompanhada por um devido aprofundamento crítico nas discussões por parte dos educadores e da sociedade em geral, e não se efetiva como uma prática social que possibilite o enfrentamento da grave crise socioambiental.

Política Nacional do Meio Ambiente

Art. 4.º – A Política Nacional do Meio Ambiente visará:

- i. à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico;

- ii. à definição de áreas prioritárias de ação governamental relativa à qualidade e ao equilíbrio ecológico, atendendo aos interesses da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios;
- iii. ao estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais;
- iv. ao desenvolvimento de pesquisas e de tecnologias nacionais orientadas para o uso racional de recursos ambientais;
- v. à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, à divulgação de dados e informações ambientais e à formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico;
- vi. à preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida;
- vii. à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

Ley n.º 81 de la República de Cuba

Art. 9.º – Son objetivos de la presente Ley:

- i. Crear un contexto jurídico que favorezca la proyección y desarrollo de las actividades socioeconómicas en formas compatibles con la protección del medio ambiente.
- ii. establecer los principios que orienten las acciones de las personas naturales y jurídicas en materia ambiental, incluyendo los mecanismos de coordinación entre los distintos órganos y organismos para una gestión eficiente.
- iii. Promover la participación ciudadana en la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible.
- iv. Desarrollar la conciencia ciudadana en torno a los problemas del medio ambiente, integrando la educación, la divulgación y la información ambiental.
- v. Regular el desarrollo de actividades de evaluación, control y vigilancia sobre el medio ambiente.
- vi. Propiciar el cuidado de la salud humana, la elevación de la calidad de vida y el mejoramiento del medio ambiente en general.

Quadro 3 – Objetivos da legislação de proteção ambiental brasileira e cubana

Fonte: Autoria própria, com base na compilação de Brasil (1981) e Cuba (1997).

Nos objetivos estabelecidos pela política pública ambiental brasileira e cubana (Quadro 4), destaca-se a necessidade da compatibilização do direito ao desenvolvimento econômico, com a preservação do meio ambiente; quer dizer: retorna-se ao princípio do desenvolvimento sustentado.

Matriz Energética Nacional

Oferta de Energia e Políticas Públicas

Em linhas muito gerais, as diretrizes políticas do setor energético relativas à oferta de energia deveriam se centrar nos seguintes pontos:

- i. garantir a segurança de abastecimento, com modicidade tarifária, promovendo a livre concorrência, atraindo investimentos e garantindo a qualidade do abastecimento;
- ii. buscar manter a grande participação de energia renovável na Matriz, mantendo a posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional;
- iii. fomentar a eficiência energética na produção de energia no País;
- iv. incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional;
- v. promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho e valorizar os recursos energéticos e preservar o interesse nacional;
- vi. procurar utilizar sempre tecnologia nacional no desenvolvimento das fontes competitivas;
- vii. para isso, traçar trajetória de desenvolvimento das fontes que leve em conta sua disponibilidade e sua potencialidade até 2030, de modo a melhor aproveitá-las;
- viii. procurar sempre otimizar o transporte de energia entre a área em que ela é produzida até a chegada ao consumidor final, inclusive reduzindo ao mínimo as perdas envolvidas no processo.

Decreto-Ley n.º 345

Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía

Art. 1º. El presente Decreto-Ley tiene como objeto establecer las regulaciones para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía, a fin de contribuir con:

- i. La elevación de la participación de las fuentes renovables de energía en la generación de electricidad.

»

- ii. La sustitución progresiva de los combustibles fósiles.
- iii. La diversificación de la estructura de los combustibles fósiles empleados en la generación de energía eléctrica.
- iv. La elevación de la eficiencia y el ahorro energéticos.
- v. La estimulación de la inversión, la investigación y la elevación de la eficiencia energética, así como la producción y utilización de energía a partir de fuentes renovables, mediante el establecimiento de incentivos y demás instrumentos que estimulen su desarrollo.
- vi. El desarrollo de la producción de equipos, medios y piezas de repuesto por la industria nacional, para el aprovechamiento de las fuentes renovables y la eficiencia energética.
- vii. El establecimiento en el sector estatal de un sistema de trabajo que incluya la planificación de las tareas que posibilite el cumplimiento de los objetivos trazados.

Quadro 4 – Objetivos dos planos nacionais de desenvolvimento de fontes de energia no Brasil e em Cuba

Fonte: Autoria própria, com base na compilação de Brasil (2008) e Cuba (2019).

Nas políticas energéticas, Brasil e Cuba vêm acompanhando as tendências que se mostram favoráveis às economias em desenvolvimento, priorizando a diversificação da atual matriz energética, no sentido de ampliar a participação das energias renováveis. Porém, nos dois países, as energias renováveis ainda são fontes complementares e há um longo caminho a percorrer até que se chegue a níveis dos padrões dos países desenvolvidos.

Os Gráficos 1 e 2 demonstram os percentuais de uso de energias renováveis e não renováveis em Cuba e no Brasil.

O Brasil é reconhecido internacionalmente por seu potencial de fontes renováveis, destacando-se nesse contexto os empreendimentos hidrelétricos para produção de eletricidade (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2012). Apesar desse expressivo potencial renovável, o país utiliza apenas 5% da sua capacidade total instalada na geração de eletricidade dessa fonte. Segundo a matéria do Greenpeace Brasil ([R]EVOLUÇÃO..., 2010), “No Brasil, o total de energia que poderia ser aproveitada com tecnologias atuais é 26,4 vezes maior que a demanda nacional”.

Já Cuba tem uma série de limitações na sua matriz, sendo que a maior fonte de energia é o petróleo. Tendo em vista essa extrema dependência, a política pública estabelecida no Decreto-Ley n.º 345 (CUBA, 2019) busca o desenvolvimento de fontes renováveis e o

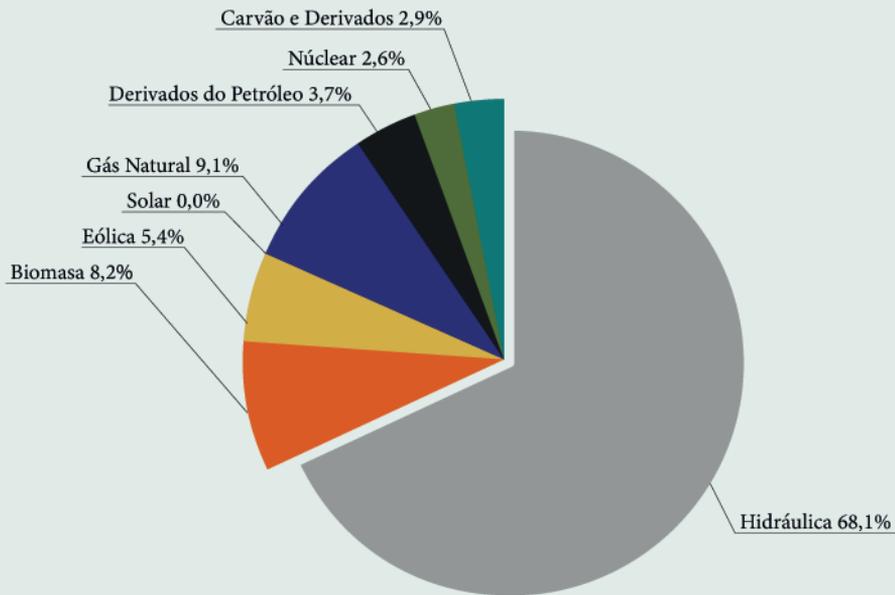


Gráfico 1 – Matriz energética brasileira em 2016
 Fonte: Brasil (2015).

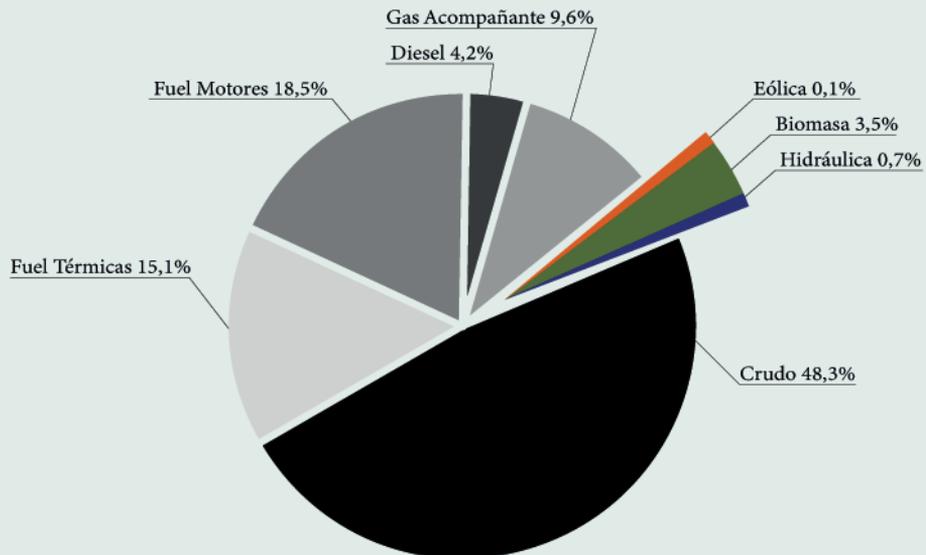


Gráfico 2 – Matriz energética cubana em 2014
 Fonte: Cuba... (2014).

uso eficiente da energia. Além disso, permite a eliminação gradual de obstáculos e tarifas sobre a importação de equipamentos que trabalham com fontes renováveis de energia ou recursos para a sua construção.

Nos dois casos, as energias renováveis se mostram com boas perspectivas no longo prazo; contudo, ainda se faz necessário maior aporte de recursos para o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis e a instituição de um marco regulatório favorável aos investimentos.

Matriz Energética Nacional

As diretrizes políticas formuladas para se buscar alcançar os objetivos estabelecidos são:

- i. criar um ambiente sustentável para a indústria de eficiência energética;
- ii. estimular o aumento da eficiência energética de equipamentos, sistemas e processos produtivos;
- iii. incorporar de forma sistematizada a eficiência energética no planejamento de curto, médio e longo prazos do setor energético;
- iv. fomentar a substituição de fontes energéticas sempre que isto representar ganhos sistêmicos de eficiência;
- v. direcionar o poder de compra governamental para a aquisição de produtos e serviços eficientes, do ponto de vista energético;
- vi. fomentar a redução de perdas técnicas nos sistemas de produção, transporte e distribuição de energia.

Decreto-Ley n.º 345/2017

Art.14 – Para el desarrollo de la utilización de fuentes renovables de energía, se prioriza:

- i. La instalación de bioeléctricas en la industria azucarera con un enfoque energético, integral y flexible.
- ii. El montaje de parques eólicos.
- iii. La energía hidráulica, con aprovechamiento al máximo de las potencialidades.
- iv. La ubicación de paneles fotovoltaicos y calentadores solares.
- v. El aprovechamiento de los residuos de cosechas agrícolas y desechos fabriles, pecuarios y urbanos.

Quadro 5 – Diretrizes de proteção do meio ambiente constantes nos planos nacionais de energia no Brasil e em Cuba

Fonte: Autoria própria, com base na compilação de Brasil (2008) e Cuba (2019).

Os Quadros 4 e 5 retratam a política de desenvolvimento do setor elétrico/energético e, assim, é possível perceber que partem de visões bastante diferentes daquelas estabelecidas nas constituições e políticas ambientais, pois consideram basicamente o desenvolvimento econômico e/ou os custos econômicos da expansão energética.

Nos dois casos, desaparecem do texto as considerações sobre a manutenção do equilíbrio ecológico ou a visão do meio ambiente enquanto patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido. Parece que o viés ambiental é analisado como pesos e importância muito destoantes. Assim, é cabível questionar a viabilidade da expansão da estrutura energética dos dois países, numa matriz renovável e considerando os parâmetros do desenvolvimento sustentável do país.

Considerações finais

Assim, com base no comparativo feito, demonstrou-se a dificuldade no balanço dos aspectos ambientais, sociais e econômicos quando se trata do desenvolvimento da sociedade. Muito embora se reconheça o esforço nas políticas públicas em erigir o meio ambiente e a dignidade humana ao patamar necessariamente adequado, a pressão do viés econômico é o mais impactante.

Deve-se ter em conta que os conflitos entre proteção ao meio ambiente e desenvolvimento econômico devem ser analisados pensando-se que existe, de um lado, o direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e, de outro, o direito fundamental ao desenvolvimento socioeconômico. Por isso, as limitações ou proibições eventualmente impostas devem ser determinadas com base em colisões entre os direitos fundamentais, com bens jurídicos constitucionalmente ou instrumentos jurídicos internacionais, inclusive as declarações de direitos humanos.

Obviamente, não se perde de vista que, talvez, o maior problema concernente à questão do embate entre desenvolvimento econômico e proteção do meio ambiente consiste em se decidir, na prática, qual seria o prejuízo mais grave a ser evitado na sociedade. Porém, um norte para análise já está determinado nas constituições analisadas: entre o desenvolvimento econômico e o meio ambiente, a opção dos Estados foi de priorizar a tutela do meio ambiente.

Referências

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional**. Brasília: DF, Ministério de Minas e Energia, 2015. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-127/topico-97/Relat%C3%B3rio%20Final%202015.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm Acesso em: 1 nov. 2023.

BRASIL. **Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,Lei%2C%20com%20fundamento%20no%20art. Acesso em: 1 nov. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2007. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/matriz-energetica-nacional-2030>. Acesso em: 1 nov. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

CUBA apuesta por una energía más limpia, diversa y eficiente. **Cuba Debate**. La Habana, 14 ago. 2014. Disponível em: <http://www.cuba-debate.cu/especiales/2014/08/14/cuba-apuesta-por-una-energia-mas-limpia-diversa-y-eficiente/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CUBA. **Constitución de la Republica de Cuba de 1976**. La Habana: Presidencia de la República, 1976. Disponível em: <https://www.parlamentocubano.gob.cu/sites/default/files/documento/2022-06/Constituci%C3%B3n-de-la-Rep%C3%ABblica-de-Cuba-1976.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CUBA. Decreto-ley n.º 345, de 23 de marzo de 2019. Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía. **Diario Oficial de la Federación**: seção 1, La Habana, ano 177, n. 352, p. 2123-2128,

nov. 2019. Disponível em: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/sites/default/files/goc-2019-o95.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2020.

CUBA. **Ley n.º 81, de 11 de julio de 1997**. La presente Ley se denomina Ley del Medio Ambiente y establece los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas que regulan la gestión ambiental del Estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general. Cuba: Ministerio de Justiça, 1997. Disponível em: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/ley-81-de-1997-de-asamblea-nacional-del-poder-popular>. Acesso em: 10 mar. 2021.

GUIMARÃES, M. Por uma educação ambiental crítica na sociedade atual. **Revista Margens Interdisciplinar**, Pará, v. 7, n. 9, p. 11-22, 2016.

ONU. **Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável**. Johannesburgo: ONU, 2002.

ONU. **Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança da Convenção Sobre Diversidade Biológica**. Cartagena: ONU, 2003.

REIS, E. V. B.; RIOS, M. O Direito Fundamental ao Meio Ambiente no Contexto Ibero-Americano: Brasil e Espanha. **Conpedi Law Review**, [s. l.], v. 1, n. 12, p. 113-134, 2016.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manole, 2012.

[R]EVOLUÇÃO energética: a caminho do desenvolvimento limpo. **Greenpeace**, [São Paulo], 10 dez. 2010. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/publicacoes/revolucao-energetica-a-caminho-do-desenvolvimento-limpo/0>. Acesso em: 20 maio 2021.

SANTOS, S. M.; SOUZA M. P. Análise das contribuições potenciais da Avaliação Ambiental Estratégica ao Plano Energético Brasileiro. **Revista de Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16 n. 4, p. 369-378, 2011.



O atual modelo de expansão da matriz energética brasileira baseado nas hidrelétricas

Andréa de Souza

Christian Luiz da Silva

Alain Hernández Santoyo

Introdução

A história do planejamento energético brasileiro acompanhou as mudanças políticas e econômicas das décadas de 1970 e 1980, e a transição para a matriz energética baseada na hidroeletricidade foi o caminho escolhido para manter os níveis de atividade econômica sem comprometer o crescimento do país.

Este estudo consiste numa pesquisa aplicada de abordagem exploratória e descritiva. Por meio da combinação das duas técnicas, espera-se delinear a potencial trajetória de longo prazo do setor elétrico brasileiro. Para a coleta de dados, foi utilizada a pesquisa bibliográfica e documental. O foco principal foi compreender o atual quadro do setor elétrico nacional com base na hidroeletricidade frente aos principais desafios da atualidade e realidade brasileira.

Pretende-se traçar um quadro do que ocorre no Brasil e no mundo, destacando-se as tendências em geração de energia elétrica com base na hidroeletricidade, assim como discutir o planejamento energético brasileiro, com ênfase nas ações direcionadas à produção de hidroenergia no longo prazo. Também são abordados os impactos gerados pelas hidrelétricas numa abordagem além dos temas ambientais, enfocando os aspectos institucionais e os interesses dos agentes econômicos envolvidos.

O Brasil teve dois anos consecutivos de baixo crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), entretanto, a esperada retomada do crescimento da economia demandará mais energia para produção e consumo das famílias. No país da abundância de recursos hídricos, questiona-se a capacidade do setor elétrico nacional de prover as necessidades dos agentes econômicos com níveis de sustentabilidade desejáveis a um país em desenvolvimento e com relativo atraso em desenvolvimento tecnológico.

O atual contexto energético mundial

Observa-se que a matriz energética mundial segue no ritmo de pleno uso dos combustíveis fósseis não renováveis. No Gráfico 1, verifica-se que, atualmente, os investimentos direcionados à produção e consumo desse energético em escala global são expressivamente maiores quando comparados aos investimentos em energia renovável.

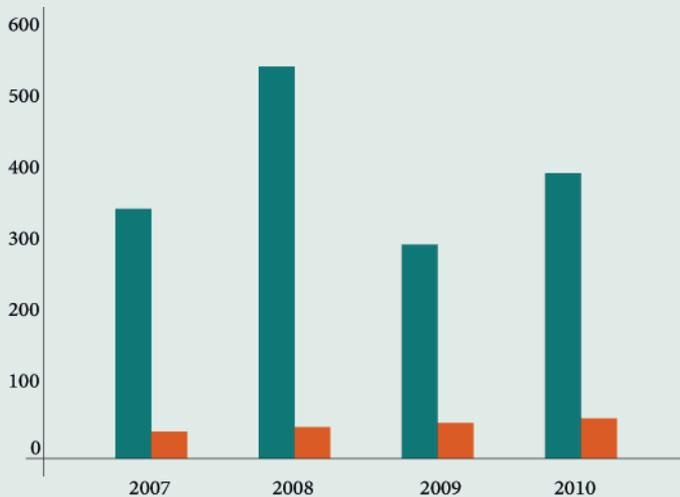


Gráfico 1 – Subsídios ao consumo de energia no mundo (US\$ bilhões)

Fonte: World Energy Outlook (2011).

Esse dado sugere descaso em relação às futuras de um potencial colapso ambiental, em detrimento da utilização intensiva dessa fonte de energia, que oferece vantagens de mercado para importantes *players* da economia mundial. Os frequentes alertas sobre os impactos ambientais negativos em médio e longo prazo, tais como derramamentos de óleo, perda da biodiversidade, chuva ácida e poluição urbana não têm produzido a diminuição de ritmo do uso dessa energia (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Dados mundiais de 2011 apontaram que a capacidade instalada de geração hídrica era de 18,2%, enquanto que, no mesmo ano, foram apontados 15,7% de geração nessa fonte. A hidroeletricidade já foi amplamente explorada em grande escala na Europa (75%) e América do Norte (69%), contudo, ainda se pode contar com um expressivo potencial na América Latina (33%), Ásia (22%) e particularmente na África (7%). A produção de eletricidade com base nessa fonte apresenta boas oportunidades de atração de investimentos tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento, especialmente para plantas menores, conhecidas no Brasil como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (WORLD ENERGY COUNCIL, 2013).

Os principais entraves na expansão e continuidade das hidrelétricas ocorrem devido à demanda por altos investimentos de capital nos projetos de instalação de grande porte, a necessidade de extensas áreas de alagamento que desgastam o meio ambiente, o deslocamento de populações ribeirinhas e, como principal dificuldade na continuidade na expansão desse modelo, a obtenção de licenciamento para a construção desses empreendimentos em âmbito global (MACFARLANE, 2007).

A Tabela 1 apresenta os custos de geração de energia hídrica em 2013. Nota-se que os resultados refletem uma média para um cenário de referência e não ajuízam os valores máximos e mínimos, podendo ocorrer variações em diferentes países. Observa-se como tendência a construção de PCHs para atender comunidades com demandas específicas ou, como no caso chinês, onde a atual infraestrutura não atende esses grupos.

Geografia das Hidrelétricas	CAPEX (*) (USDm/MW)	OPEX (**) (USDm/MW/ano)	Fator de capacidade (%)
Pequenas	1.40-3.68	15.002-85.000	23-80
Grandes	1.59-4.15	20.000-62.000	20-75

Tabela 1 – Custo médio global da hidroeletricidade

Fonte: Adaptado de World Energy Council (2013).

Juntos, China, Brasil, Canadá, Estados Unidos e Rússia produziram mais de 50% do total de hidroeletricidade ofertada no mundo em 2011. Essa fonte é extensivamente utilizada em mais de 160 países; contudo, nesse mesmo ano, representou apenas 2,3% da oferta mundial de energia ou o equivalente 3566 TWh conforme mostrado no Gráfico 2 (IEA, 2013). A continuidade da expansão das hidrelétricas nesses países, assim como no Brasil, também tem sido discutida pelos especialistas à luz dos mecanismos de mercado e da regulamentação ambiental.

(*) Capital Expenditure (CAPEX)

(**) Operating Expenditure (OPEX)

Registra-se atualmente a existência de 3 502 empreendimentos em operação no Brasil, perfazendo um total de 132 438 843 kW de potência instalada no sistema (BRASIL, 2014b)¹. As usinas hidrelétricas (UHEs), segundo Brasil (2014b), respondem por 67% da geração de energia², contribuindo sobremaneira para amenizar o problema das emissões de gases poluentes. Em 2013, a participação das fontes renováveis na matriz energética nacional manteve-se em 41%, enquanto que no mundo esse percentual não ultrapassa, hoje, 8% (BRASIL, 2014a). A maior parcela das energias renováveis brasileiras é de fonte hídrica, em sua maioria localizadas nas bacias dos rios Iguaçu, Uruguai e Paraná. O Gráfico 2 mostra que a oferta interna com base nessa fonte vem se mantendo na média de 14% ao ano no período compreendido entre 2004 e 2011.

¹ Dados referentes a data de 17 de novembro de 2014.

² 88 554 034 kW de potência fiscalizada.

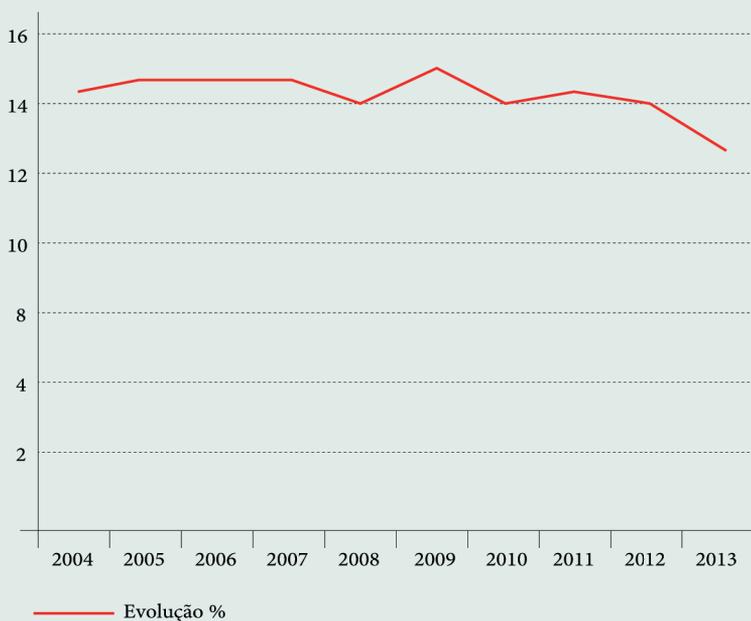


Gráfico 2 – Oferta interna de hidroeletricidade no Brasil

Fonte: Brasil (2014a).

Em 2012 e 2013, eventos como a escassez de chuvas alteraram o padrão de comportamento da oferta de energia elétrica de fonte hidráulica, apresentando um decréscimo, em 2013, de 5,4%, o que explica a retração da participação de renováveis na matriz elétrica nacional, a despeito do incremento de 1 724 MW na potência instalada para geração (BRASIL, 2014a).

A economia brasileira mostrou um crescimento abaixo das expectativas em 2013, com uma modesta expansão de 2,3% do PIB em relação a 2012 (IBGE, 2014); contudo, a oferta interna de energia

atingiu uma taxa de crescimento de 4,5% em comparação ao ano anterior. Adicionalmente, verificou-se um substancial incremento na oferta interna da fonte eólica para geração elétrica à taxa de 30,3% (ou 6 579 GWh) em 2013 (BRASIL, 2014a).

A expansão do sistema elétrico da forma como ocorre atualmente no Brasil é criticada por beneficiar um número respeitável de empresas multinacionais e transnacionais que operam no país, o que torna as decisões marcadamente orientadas para benefício econômico em detrimento das questões socioambientais (BURSZTYN, BURSZTYN, 2012). Amiúde, os empreendimentos hidrelétricos têm se revelado insustentáveis, seja em nível mundial ou local. Isso ocorre em virtude de critérios que identificam os problemas físico-químico-biológicos resultantes da implantação e operação das UHEs e sua interação com as características ambientais do seu lócus de construção. As UHEs brasileiras já resultaram em mais de 34 000 km² de terras inundadas para a formação dos reservatórios e no deslocamento compulsório de cerca de 200 mil famílias (BERMANN, 2002).

O setor de energia mostrou expressivo progresso nos últimos 20 anos, mas continua expondo a sociedade ao risco dos efeitos negativos decorrentes do uso intensivo de combustíveis fósseis e degradação do meio ambiente. Visando reduzir a dependência de fontes fósseis, países como Alemanha, Espanha, Dinamarca e Reino Unido vêm expandindo o parque eólico, visto que o setor elétrico europeu é responsável por 1/3 das emissões europeias de gás carbônico (BICALHO, 2009).

Planejamento energético brasileiro

A fonte hidrelétrica para o Brasil constitui-se numa vantagem competitiva relevante e a construção de novos empreendimentos deve atender a uma das mais exigentes legislações ambientais do mundo (BRASIL, 2014a). O Plano Decenal de Expansão e Energia de 2022 (PDE) prevê investimentos na expansão da capacidade instalada de geração elétrica em 183,1 GW. Adicionalmente, indica que até 2020 a matriz energética brasileira deve se manter entre as mais renováveis do mundo. Atualmente, a capacidade instalada de geração do país adicionou 5,8 GW em relação ao ano de 2012 (produção registrada nas centrais de serviço público e autoprodutoras).

A oferta de energia hídrica está concentrada nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, onde se encontra o maior potencial já explorado, e projetos futuros tendem a se concentrar na região ama-

zônica. Tanto na Matriz Energética 2030 como no PDE 2022, a opção de expansão do parque gerador de energia elétrica prevê a hidroeletricidade como a fonte mais viável no longo prazo, entretantes, não se desconsidera a expansão do parque térmico (BRASIL, 2007, 2013).

Atualmente, estão em construção 19 usinas termelétricas, com 1 370 842 kW de potência outorgada e, em 17 de novembro de 2014, existiam 1.879 termelétricas em operação. A expansão da oferta de energia elétrica deverá incrementar 39 371 MW na potência instalada do parque hidrelétrico brasileiro, o total 35 UHEs concluídas até 2022 (BRASIL, 2014b).

A Tabela 2 mostra a participação das atualmente mais competitivas e principais fontes de energia do país:

Fonte	Ano de 1980	Ano de 2013
Petróleo (%)	48,3	39,3
Gás natural (%)	1,0	12,8
Hidráulica (%)	9,6	12,5
Derivados da cana-de-açúcar (%)	8,0	16,1
Oferta de energia 103 tep (toe)	114,8	296,2

Tabela 2 – Participação das principais fontes de energia na matriz energética brasileira e evolução da oferta total de energia

Fonte: NAIPPE/USP, adaptado com dados de BRASIL (2014a).

Por outro lado, Leite (2011) ressalta que o predomínio da energia das hidrelétricas, pelo seu custo e caráter renovável, foi ameaçado pela crise de abastecimento de 2001 e, mais recentemente, pelos sucessivos apagões e acionamento das usinas termelétricas. Note-se que, em 2013, a utilização das usinas térmicas aumentou 31% em relação ao ano anterior (BRASIL, 2014a).

Outro desafio enfrentado pelo setor elétrico brasileiro são as perdas térmicas originárias da geração termelétrica pública que, em 2013, foram de 48% (BRASIL, 2014a). Essa quantidade de energia desperdiçada poderia ser adicionada ao desenvolvimento do país, desperdício esse que resultou em maior ineficiência, tarifas encarecidas e a redução da arrecadação sobre a energia não faturada (REY, 2012).

O preço da energia³ elétrica é um dos indicadores que comprometem a frágil competitividade dos produtos brasileiros nos mercados doméstico e internacional (BRASIL, 2014a). Também se observa a

3 Moeda nacional corrente convertida a dólar corrente pela taxa média anual do câmbio. Estes preços já incluem os impostos (BRASIL, 2014b).

ausência de políticas públicas que atuem na mediação das incoerências verificadas atualmente no marco regulatório e na infraestrutura do eixo energia. Além da falta de planejamento integrado e insuficiência de linhas de transmissão, as autoridades do setor elétrico têm concedido subsídios a grandes consumidores e a eficiência energética não tem sido aproveitada em sua potencialidade (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2012).

A energia eólica vem aumentando sua participação na matriz energética brasileira e respondeu por 5% da capacidade total de geração ao final de 2013 (BRASIL, 2014a). A potência instalada para geração eólica expandiu 16,5% e o parque eólico nacional cresceu 313 MW, atingindo 2 207 MW ao final de 2013, evidenciando o potencial de mercado dessa fonte (BRASIL, 2014b).

Contudo, atualmente, a condução da política energética brasileira se mantém centrada na energia hidráulica, que permanecerá sendo prioridade estratégica na expansão da oferta. Prova disso é que estão em construções grandes projetos de UHEs como Jirau (3 300 MW), no rio Madeira e Belo Monte (11 233 MW), no rio Xingu, ambas na bacia Amazônica (BRASIL, 2014a). Em última análise, a percepção de risco dos investidores em relação ao atual modelo do setor elétrico brasileiro é uma variável que compromete a ampliação da capacidade de geração por meio das hidrelétricas, revelando a necessidade de se compartilhar os riscos financeiros entre os participantes públicos e privados dos consórcios investidores (SILVA, 2014).

Há sinais de desconfiança nas instituições brasileiras e se observa a falta de regulação condizente com a sustentabilidade, o que resulta em escassos investimentos e poucos projetos estruturais efetivamente postos em prática. Observa-se que a legislação atual nos aspectos de construção e operação das hidrelétricas precisa ser revisada à luz de novas demandas sociais. Tanto do ponto de vista jurídico como técnico, as frequentes paralisações e embargos de obras, dentre outros entraves, revelam que o atual marco legal se mostra ineficaz e não dá o devido suporte necessário às partes envolvidas (SILVA, 2014).

Impactos da expansão das hidrelétricas

É indiscutível que países desenvolvidos e em desenvolvimento se veem mais pressionados com a sustentabilidade de suas economias, seja para atendimento de exigências formais ou visando ao bem-estar das gerações futuras. A geração de hidroeletricidade, em países com abundância de bacias hidrográficas, ainda se mostra em

forte tendência de continuidade, entretanto, impasses ambientais são, hoje, os principais responsáveis pelo entrave da expansão dessa fonte.

As PCHs têm se mostrado uma alternativa viável porque, tecnicamente, demandam menos recursos naturais e menores áreas de alagamento. O custo de geração dessas unidades se mostra competitivo, na média R\$ 20,00–R\$ 40,00 por kWh (MENEZES; PINTO, 2007), um dos mais baixos quando comparados ao custo de geração por meio da biomassa ou derivados da cana-de-açúcar, por exemplo. Atualmente, a capacidade instalada das PCHs é de 4 677 132 kW de potência fiscalizada, o equivalente a 469 unidades em operação e 41 plantas estão em obras de construção (BRASIL, 2014b).

O Brasil utiliza de forma massiva a energia hídrica para geração de eletricidade, o que contribui sobremaneira para se posicionar como o país líder no ranking da utilização de fontes limpas e renováveis (BRASIL, 2014a). Entretanto, nos anos de 2012 e 2013, uma estiagem, associada à insuficiência de investimentos no parque hidrelétrico, além do atraso na entrega de projetos, resultou no acionamento das termelétricas, que funcionaram como usinas complementares às modernas instalações a fio d'água⁴. Tal conjuntura retomou a discussão sobre a fragilidade da segurança energética advinda da hidroeletricidade e o reforço de que deve se viabilizar a participação de outras fontes na matriz energética nacional. No Brasil, a energia eólica vem se fortalecendo, seguindo a tendência do que ocorre na União Europeia (BRASIL, 2014a).

4 Usinas a fio d'água são aquelas que têm pouca ou nenhuma capacidade de armazenamento de água, só utilizando a água que de fato chega até ela (SILVA, 2001).

Observando-se a experiência dos países desenvolvidos, é visível que a meta de crescimento com uma economia de baixo carbono será alcançada quando as políticas forem capazes de contribuir para melhor equacionar as decisões que envolvem as dimensões ambientais, sociais e institucionais. Com base na crise de suprimento de eletricidade de 2001, a Lei n.º 10 848 de 2004 passou a estabelecer “O critério para definição da expansão do setor por meio de licitações de novos empreendimentos” (BICALHO, 2009, p. 126).

O Estado, por intermédio de um conjunto de agentes, passou a exercer rigorosamente o papel de planejador e, por extensão, de coordenador da expansão da capacidade instalada do setor elétrico. Destaca-se o papel do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) como o principal agente financiador de projetos de infraestrutura. Por outro viés, a participação do

capital privado é essencial para a maturação desses projetos de longo prazo, dada a insuficiência de recursos públicos (MOREIRA; MILLKAN, 2012).

A política energética deveria ser o ambiente de compatibilização entre as demais políticas que afetam o setor elétrico; contudo, isso ainda não ocorre, a despeito de muitos analistas afirmarem que o gargalo institucional está superado. Enquanto as políticas forem desenhadas de forma isoladas, não contribuirão de forma efetiva para o alcance de melhores indicadores de sustentabilidade energética (BICALHO, 2009).

A economia brasileira não tem apresentado indicadores de expansão do PIB expressivos nos últimos anos, de forma que o consumo de energia da indústria foi achatado; contudo, se a economia voltar a crescer em ritmo acelerado, as pendências do setor elétrico não estarão restritas aos aparentes gargalos ambientais.

Considerações finais

Entre as alternativas realistas do contexto nacional, a hidroeletricidade continua sendo a opção que oferece ao Brasil o melhor potencial de aproveitamento dos recursos existentes; entretanto, esse modelo de expansão do setor elétrico tem sido fortemente criticado e seu viés sustentável, questionado. As intervenções humanas causam desarmonia ao meio; contudo, hoje e no futuro, as escolhas deverão se pautar entre as alternativas mais adequadas às necessidades da economia nacional, com menor pressão sobre o meio ambiente.

Nesse contexto, as hidrelétricas ainda seguem se ajustando a essa nova demanda. O planejamento nacional está orientado para a exploração do potencial hídrico; entretanto, os frequentes conflitos na região amazônica, decorrentes de disputas entre empreiteiros e populações atingidas, a falta de políticas integradas e mesmo as mudanças ocorridas recentemente nos ciclos hidrológicos, têm colocado em xeque a manutenção desse modelo de expansão do setor elétrico no longo prazo. A eficiência energética deve ser considerada com mais atenção no planejamento energético nacional. Ao contrário de outros países que responderam a situações de crises de abastecimento gerenciando o lado da demanda, o Brasil insiste em expandir a oferta.

Pode-se inferir com esta pesquisa que a política energética brasileira está orientada para a expansão da oferta baseada na

hidroeletricidade, a despeito dos atuais questionamentos de inviabilidade futura e seu frágil caráter renovável. Todavia, a manutenção dessa opção requer maior equacionamento entre as reais necessidades da expansão da economia e as exigências socioambientais características de países em desenvolvimento. A diversificação da matriz energética brasileira tem ocorrido especialmente com a expansão do uso da energia eólica e a tradição que o país tem no uso dos derivados da cana-de-açúcar; entretanto, alternativas devem ser incentivadas, dado o caráter complementar inerente dessas tecnologias.

Referências

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de informações de geração da ANEEL**. Rio de Janeiro: ANEEL, 2014b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 20 nov. 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2014**: ano base 2013. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2014a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão da Energia, 2022**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2013.

BERMANN, C. A perspectiva da sociedade brasileira sobre a definição e implementação de uma política energética sustentável: uma avaliação da política oficial. *In*: ORTIZ, L. S. (org.). **Fontes alternativas de energia e eficiência energética**. Campo Grande: Gibim Gráfica e Editora, 2002, p. 51-66.

BICALHO, R. (coord.). **Perspectivas do investimento em energia**. Rio de Janeiro: UFRJ; UNICAMP, 2009. Disponível em: https://www.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/PerspectivasdoInvestimento/01_ds_energia_biocombustiveis.pdf. Acesso em: 10 nov. 2013.

BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. **Fundamentos de política e gestão ambiental**: os caminhos do desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2012.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, São Paulo, n. 72, p. 6-15, 2007. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13564/15382>. Acesso em: 10 nov. 2013.

IBGE. **Censo 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Acesso em: 18 ago. 2014.

IEA. **Key World Energy Statistics**. Paris: IEA, 2013. Disponível em: <https://www.iea.org/newsroom/news/2013/october/key-world-energy-statistics-2013-now-available.html>. Acesso em: 15 abr. 2014.

LEITE, A. D. **A economia brasileira: de onde viemos e onde estamos.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MACFARLANE, A. M. Energy: the issue of the 21st Century. **Elements**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 165-170, 2007. Disponível em: <http://171.66.125.216/content/3/3/165.short>. Acesso em: 15 fev. 2014.

MENEZES, E. L.; PINTO, D. P. **Fontes de energia alternativa no Brasil.** Juiz de Fora: UFJF, 2007.

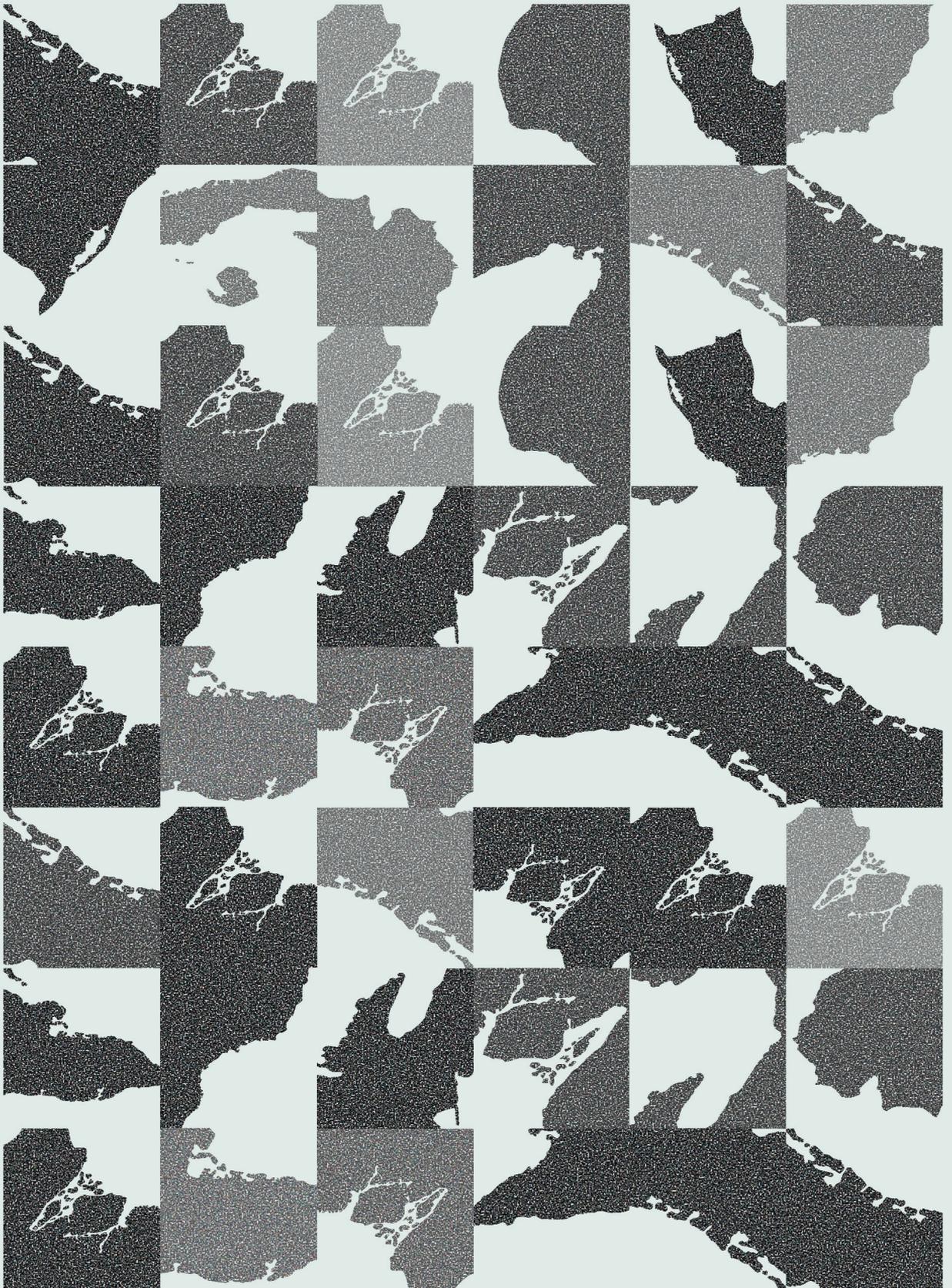
REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável.** Barueri: Manole, 2012.

REY, O. Um olhar para as grandes perdas de energia no sistema de transmissão elétrico brasileiro. *In*: MOREIRA, P. F.; MILLIKAN, B. (org.). **O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: oportunidades e desafios.** 2 ed. Brasília: International Rivers Network, 2012. p. 40-45. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/q4l00010.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2014.

SILVA, P. J. Usinas hidrelétricas do século 21: empreendimentos com restrições à hidroeletricidade. **Brasil engenharia**, São Paulo, n. 619, p. 83-90, 2014. Disponível em: http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao619/619_energia.pdf. Acesso em: 17 nov. 2014.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World energy perspective: cost of energy technologies.** London: World Energy Council, 2013.

WORLD ENERGY OUTLOOK. **World energy outlook.** France: IEA, 2011.



Uma análise comparativa de indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável

Adriana Ripka

Christian Luiz da Silva

Alain Hernández Santoyo

Introdução

Em se tratando das decisões envolvendo a manutenção, expansão ou mesmo alteração de fontes energéticas, verifica-se a necessidade da participação de diversas instituições, tais como políticas, legislativas, agências reguladoras, entre outras. Essas instituições, segundo Peralta Félix (2001), são construídas historicamente conforme a necessidade da sociedade, podendo auxiliar na diminuição das incertezas. Dois exemplos delas, no caso específico do planejamento energético, são: Agência Internacional de Energia - International Energy Agency (IEA), criada em 1974, e a Agência Internacional de Energia Atômica - International Atomic Energy Agency (IAEA), criada em 1975. Tanto a IEA quanto a IAEA possuem papel importante no que se refere à energia, pois, entre outras funções, promovem o levantamento de informações que auxiliam os tomadores de decisões, que buscam tais dados.

Inicialmente, ambas as agências foram criadas voltadas para a segurança energética, devido à crise do petróleo em 1973. Possuíam foco no levantamento de informações, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para questões econômicas e de eficiência energética, contudo, após a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio-92), incorporaram, também, as questões ligadas aos impactos da energia no meio ambiente e na sociedade (EIA, 2002; PEDERNEIRAS, 2007).

Essas e outras instituições voltadas para a pesquisa energética fornecem indicadores que podem ser definidos como

Parâmetro, ou um valor derivado de parâmetros, que objetiva fornecer informações, descrevendo o estado de um fenômeno, ambiente ou área, com um significado que ultrapassa a associação direta a um valor de parâmetro (OECD, 2005, p. 143, tradução nossa).

Desta definição, vale ressaltar que não somente o valor apresentado por um indicador deve ser considerado, mas o significado diverso que este valor possa trazer, junto a um determinado contexto, deve ser somado à análise.

Especificamente sobre energia, os indicadores analisados, no presente capítulo, são os voltados para o desenvolvimento sustentável, tendo como objetivo apresentar uma análise comparativa dos indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável - Energy Indicators for Sustainable Development (EISD), identificados durante a pesquisa, possibilitando traçar o atual cenário dos EISDs, desde a sua criação até o ano de 2018. Este capítulo é parte da pesquisa desenvolvida em Almeida (2016) e atualizada no ano de 2018.

A elaboração desta pesquisa passou por algumas etapas. Primeiramente, houve a busca bibliográfica, em âmbito internacional, por informações sobre instituições ligadas à pesquisa sobre energia e que tratavam sobre EISD. Na pesquisa foram identificadas 19 instituições ligadas à pesquisa sobre energia, originadas de diversas nações: Brasil, França, Canadá, Japão, China, Índia, Europa, Nações Unidas, Estados Unidos e América Latina e Caribe.

Identificadas as 19 instituições, iniciou-se uma pesquisa documental sobre os EISDs utilizados por essas. Levando em conta esse ponto, foi possível efetuar uma comparação analítica entre os indicadores e suas respectivas instituições de origem, o que propiciou elencar os EISDs para uma apresentação mais detalhada de cada indicador e chegar à identificação do atual cenário dos EISDs.

Indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável e instituições ligadas à pesquisa sobre energia

Os primeiros indicadores energéticos eram voltados para questões econômicas, ou de eficiência energética, e somente após a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio-92) é que tiveram seus objetivos ampliados para buscar o atendimento de outras

dimensões, como a social e a ambiental. Segundo Pereira Junior *et al.* (2013, p. 51), foi em 1999 que a “Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) iniciou um programa de longo prazo para a construção de Indicadores para o Desenvolvimento Energético Sustentável”.

O Quadro 1 sintetiza o avanço internacional na criação dos primeiros EISDs, destacando as motivações e as ações, distribuídas ao longo do tempo.

<i>Motivação</i>	<ul style="list-style-type: none"><i>i.</i> Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro (Rio-92).<i>ii.</i> Destaque de áreas chaves para o desenvolvimento sustentável.
1992	<ul style="list-style-type: none"><i>i.</i> Elaboração da Agenda 21 global (Rio-92): necessidade da criação de indicadores para apoiar decisões para o desenvolvimento sustentável, incluindo sobre energia;<i>ii.</i> Em resposta à Agenda 21, o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU (UNDESA) iniciou a elaboração de um conjunto de indicadores para o desenvolvimento sustentável (IDS). Resultou em 58 indicadores, sendo apenas 3 indicadores energéticos.
1999	<ul style="list-style-type: none"><i>i.</i> A IAEA iniciou um programa para construção de Indicadores para o Desenvolvimento Energético Sustentável (ISED).
2001	<ul style="list-style-type: none"><i>i.</i> Apresentação de um projeto para a formulação de um conjunto de indicadores energéticos (ISEDs), da IAEA, na nona seção da Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS-9).
2005	<ul style="list-style-type: none"><i>i.</i> A IAEA, em conjunto com a IEA, o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU (UNDESA - UN-Energy), a Agência de Estatísticas da Europa (Eurostat) e a Agência do Meio Ambiente da Europa (EEA) constroem uma nova série de indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável (EISD). Resultou em um conjunto com 30 EISDs, divididos nas dimensões social, econômica e ambiental.

Quadro 1 – Avanço internacional na construção de indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável

Fonte: Adaptado de Almeida (2016).

Em Vera e Langlois (2007), pode-se observar mais detalhadamente sobre a elaboração e aplicação dos primeiros EISDs. Também cabe destacar que, apesar de o conjunto de EISDs ter sido desenvolvido de forma que pudesse ser aplicado a diferentes nações, o desenvolvimento deles deveria ser um primeiro passo na busca de informações, para que o tema energia pudesse ser tratado de forma a envolver o desenvolvimento sustentável. Servindo de estímulo para que cada nação moldasse o conjunto de EISDs de acordo com suas necessidades, ou seja, de acordo com sua matriz energética, se prioriza um ou outro EISD, com a possibilidade do desenvolvimento de novos indicadores.

Como visto no Quadro 1, a iniciativa da IAEA, em conjunto com a IEA, o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da Organização das Nações Unidas (UNDESA - UN-Energy¹), a Agência de estatísticas da Europa (Eurostat) e a Agência do Meio Ambiente da Europa (EEA), ao construir os EISD, resultou em 30 EISDs, divididos nas dimensões social, econômica e ambiental. E com base nesses indicadores, divulgados pela IAEA, foi iniciada a presente pesquisa para verificar a repercussão deste conjunto no âmbito global, bem como seu *status* até 2018.

1 A UN-Energy, ou United Nations' Inter-agency Mechanism on Energy, faz parte do UNDESA.

Feito um levantamento bibliográfico envolvendo indicadores energéticos, foram identificadas 19 instituições ligadas à pesquisa sobre energia, de origens diversas. Além do Brasil (Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL; Petrobrás; Empresa de Pesquisa Energética – EPE e Ministério de Minas e Energia – MME), foram identificadas origens como França (Helio International), Canadá (Hydro-Québec), Japão (Agency for Natural Resources and Energy – ANRE; Federation of Electric Power Companies of Japan – FEPC e Ministry of Economy, Trade and Industry), China (Energy Foundation China – EFCHINA), Índia (Shakti Sustainable Energy Foundation – SHAKTI), Europa (European Statistics), Nações Unidas (IAEA; IEA; Intergovernmental Panel on Climate Change– IPCC; United Nations' Inter-agency Mechanism on Energy e World Energy Council – WEC), Estados Unidos (Tennessee Valley Authority – TVA) e América Latina e Caribe (Organización Latinoamericana de Energía – OLADE).

Nos documentos levantados com base nas 19 instituições citadas e algumas bibliografias relacionadas a estas, buscou-se conjuntos de indicadores energéticos voltados para o desenvolvimento sustentável, ou seja, que se apresentassem com, no mínimo, as dimensões econômica, social e ambiental. Ao serem identificados tais conjuntos, verificou-se que o que apresenta o maior número de

EISDs é o divulgado pela IAEA, com 30 indicadores, tornando-se assim a base para a comparação com os demais EISDs, divulgados por outras instituições.

Com relação aos indicadores energéticos no Brasil, em pesquisas na ANEEL, Petrobrás, EPE e MME, não foi localizado um conjunto específico² de indicadores energéticos voltados para o desenvolvimento sustentável. Os indicadores apresentados, por exemplo, no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2015), trazem informações sobre consumo dos diversos tipos de energia, que fazem parte da matriz energética brasileira, gerando informações com foco na dimensão econômica, não sendo, assim, apresentados como um conjunto de EISDs. A apresentação do cenário energético, envolvendo produção energética, consumo e eficiência, voltados para a dimensão econômica, repetiu-se na ANEEL, Petrobrás e MME.

Em contato com o MME, confirmou-se que não há uma classificação de indicadores energéticos nas dimensões econômica, social e ambiental, especificamente para o desenvolvimento sustentável. Contudo, Patusco (2015) cita a existência de um “Vasto material estatístico de energia, população e economia, que permite obter algumas centenas de indicadores, que cobrem estas dimensões”.

Sobre a Helio International (França), em documento a respeito do processamento de informação para políticas de energia e ecodesenvolvimento³, é destacada a relevância de um sistema de informação de energia (HELIO INTERNATIONAL, 2014). Neste documento, é apresentado um conjunto composto por 24 indicadores.

No caso da Hydro-Québec (Canadá) e da Tennessee Valley Authority (Estados Unidos), Camargo, Ugaya e Agudelo (2004), em uma proposta de definição de indicadores de sustentabilidade relacionados à geração de energia elétrica, desenvolveram um quadro comparativo dos indicadores das duas instituições. Nesse quadro, os indicadores, de ambas as instituições, tiveram sua composição detalhada. Com o objetivo de confirmação e atualização deste conteúdo, os conjuntos de indicadores das instituições, apresentados pelos autores, foram comparados com os seus respectivos relatórios atualizados.

Confirmou-se que, tanto a Hydro-Québec quanto a TVA apresentaram um conjunto com seis indicadores, que coincidem entre si, sendo eles: qualidade do ar, eficiência energética, utilização de recursos naturais, qualidade ambiental, qualidade da água, respon-

2 Nas instituições citadas existem indicadores que podem ser selecionados e analisados com a finalidade de alcançar o desenvolvimento sustentável; contudo, não se encontrou um conjunto voltado especificamente para este fim.

3 Termo que envolve dimensões variadas, de forma similar ao desenvolvimento sustentável.

sabilidade social e ambiental. Tal confirmação foi feita com base no conteúdo dos documentos: Hydro-Québec (2015), Hydro-Québec (2014) e TVA (2013 e 2014). Permitiu-se, assim, considerar, como em Camargo, Ugaya e Agudelo (2004), o mesmo conjunto de seis EISDs para a Hydro-Québec e a TVA, para comparar ao conjunto divulgado pela IAEA.

Na América Latina e Caribe, na Organización Latinoamericana de Energía, em OLADE (2003), foi indentificado um conjunto de oito EISDs. Buscou-se conteúdo mais recente, contudo, não foi obtido sucesso, desta forma, optou-se por utilizar este conjunto para a comparação com os EISDs, divulgados pela IAEA, dada a ausência de relatórios atualizados.

Já na WEC, que tem como origem as Nações Unidas, foi possível localizar documentos recentes, nos quais foram identificados 23 indicadores energéticos voltados para o desenvolvimento sustentável (WORLD ENERGY COUNCIL, 2015).

Ao se analisar os documentos disponibilizados pelo IPCC, também das Nações Unidas, pode-se reconhecer a utilização dos EISDs, divulgados pela IAEA, em seus estudos. Esta utilização se confirmou em IPCC (2014).

Na pesquisa realizada nas instituições japonesas ligadas à energia, ou seja, na ANRE, na FEPC e no METI, ocorreu situação semelhante às buscas nas instituições brasileiras. Encontraram-se estudos com indicadores sobre produção e consumo de energia, com foco na dimensão econômica, contudo, não se localizou um conjunto específico de indicadores voltados para o desenvolvimento sustentável. Na EFCHINA e na SHAKTI obteve-se o mesmo resultado.

Em documentos como o da ANRE (2014), do Japão, e da Shakti Sustainable Energy Foundation (2015), da Índia, encontrou-se referência aos EISDs da IAEA. Retomando a pesquisa dos documentos da IAEA, verificou-se em IAEA (2016) que alguns países não membros da IAEA também utilizam os EISDs divulgados por esta instituição. Dentre eles estão apontados: Brasil, Japão, China e Índia.

Assim, com embasamento em IAEA (2016), IPCC (2014), ANRE (2014) e Shakti Sustainable Energy Foundation (2015), as instituições ligadas à pesquisa sobre energia do Brasil, Japão, China e Índia, bem como o IPCC, são consideradas instituições que compartilham da utilização do conjunto do EISDs divulgado pela

IAEA. Sendo assim, na ausência da divulgação, por parte destas instituições, de conjuntos de EISDs próprios e diante da informação do compartilhamento do conjunto de EISDs divulgado pela IAEA, para comparação destas instituições com os trinta EISDs, é considerada a equivalência com todos os EISDs.

Sobre as instituições ligadas à pesquisa sobre energia que participaram da elaboração dos EISDs, divulgados pela IAEA, considerou-se a IEA, a Eurostat e a UN-Energy, de forma conjunta com a IAEA, durante a comparação dos indicadores, sendo estas citadas em apenas uma coluna, no Quadro 2.

O mesmo procedimento foi utilizado para as instituições que possuem equivalência entre os EISDs, como a Hydro-Québec e a TVA. Para as instituições do Brasil, Japão, China, Índia e o IPCC foram separadas em colunas por origem da instituição. A Helio International com 24, a OLADE com 8 e a WEC com 23 EISDs, cada uma é representada em uma coluna para comparação. Segue a composição de cada coluna do Quadro 2, totalizando as 19 instituições ligadas à pesquisa sobre energia que foram foco da pesquisa:

1. ^a coluna	Sigla dos indicadores divulgados pela IAEA;
2. ^a coluna	4 instituições que participaram da elaboração do conjunto com 30 indicadores – IAEA; IEA; Eurostat e UN-Energy;
3. ^a coluna	1 instituição da França – Helio International;
4. ^a coluna	2 instituições – Hydro-Québec (Canadá) e a TVA (Estados Unidos);
5. ^a coluna	3 instituições do Japão – ANRE; FEPC e METI;
6. ^a coluna	1 instituição da China – EFCHINA;
7. ^a coluna	4 instituições do Brasil – ANEEL; Petrobrás; EPE e MME;
8. ^a coluna	1 instituição das Nações Unidas – IPCC;
9. ^a coluna	1 instituição da América Latina e Caribe – OLADE;
10. ^a coluna	1 instituição da Índia – SHAKTI;
11. ^a coluna	1 instituição das Nações Unidas – WEC.

A comparação dos conjuntos de indicadores para o desenvolvimento sustentável (IDS), identificados entre as 15 instituições⁴, com os EISDs, divulgados pela IAEA, foi feita com base nos componentes que formam os indicadores, tendo o seu resultado apresentado no Quadro 2. Foram identificadas quatro situações, nas quais: (0) não se encontrou equivalência com determinado EISD, ou componente, em nenhum dos indicadores energéticos da instituição comparada; (1) o EISD possui um correspondente equivalente nos indicadores energéticos da instituição comparada;

4 Excluindo as instituições que participaram da elaboração dos EISDs.

(2) o EISD não foi encontrado como equivalente nos indicadores energéticos da instituição comparada, contudo, a sua composição aparece dividida em mais de um indicador da instituição comparada e (1 e 2) o EISD possui um correspondente equivalente nos indicadores energéticos da instituição comparada e, adicionalmente, seus componentes também estão presentes na forma de indicadores.

Com a intenção de se obter uma visão geral do resultado desta comparação, optou-se por também apresentar, no Quadro 2, as instituições ligadas à pesquisa sobre energia que, apesar de não apresentarem um conjunto específico, utilizam os EISDs (países não membros).

Sigla	IAEA/IEA/EUROSTAT/UN-ENERGY	Helio	Hydro-Québec	ANRE/FEPC/	EFCHINA	ANEEL/	IPCC	OLADE	SHAKTI	WEC
		Internacional	/TVA	METI		Petrobrás/ EPE/MME				
ECO1	Uso de energia <i>per capita</i>	0	0	1	1	1	1	2	1	2
ECO2	Uso de energia por unidade do Produto Interno Bruto (PIB)	0	0	1	1	1	1	2	1	2
ECO3	Eficiência da conversão e distribuição de energia	1 e 2	1	1	1	1	1	2	1	1
ECO4	Relação reservas/produção	0	2	1	1	1	1	0	1	0
ECO5	Relação recursos/produção	0	2	1	1	1	1	0	1	2
ECO6	Intensidades energéticas da indústria	2	0	1	1	1	1	0	1	2
ECO7	Intensidades energéticas do setor agrícola	2	0	1	1	1	1	0	1	2
ECO8	Intensidades energéticas do setor de serviços/comercial	2	0	1	1	1	1	0	1	2
ECO9	Intensidade energética residencial	2	0	1	1	1	1	0	1	2
ECO10	Intensidades energéticas do transporte	2	0	1	1	1	1	0	1	2
ECO11	Porcentagens de combustíveis na energia e eletricidade	0	2	1	1	1	1	2	1	2
ECO12	Porcentagem de energia não baseada no carbono na energia e eletricidade	0	2	1	1	1	1	2	1	2
ECO13	Porcentagem de energias renováveis na energia e eletricidade	1	2	1	1	1	1	1	1	2
ECO14	Preços da energia de uso final por combustível e setor	0	0	1	1	1	1	0	1	0
ECO15	Dependência líquida de importações de energia	1	0	1	1	1	1	1 e 2	1	2
ECO16	Reservas de combustíveis críticos por consumo do combustível correspondente	1	2	1	1	1	1	0	1	2
SOC1	Porcentagem de residências (ou de população) sem eletricidade ou energia comercial, ou muito dependentes de energias não comerciais	2	0	1	1	1	1	1 e 2	1	2
SOC2	Porcentagem do rendimento familiar gasto em combustível e eletricidade	2	0	1	1	1	1	2	1	2

»

Sigla	IAEA/IEA/EUROSTAT/UN-ENERGY	Helio	Hydro-Québec	ANRE/FEPC/	EFCHINA	ANEEL/	IPCC	OLADE	SHAKTI	WEC
		Internacional	/TVA	METI		Petrobrás/ EPE/MME				
SOC3	Uso residencial de energia por faixa de renda e correspondente combinação de combustíveis utilizados	1	0	1	1	1	1	2	1	0
SOC4	Vítimas mortais de acidentes por energia produzida por cadeia de combustíveis	0	0	1	1	1	1	0	1	0
AMB1	Emissões de gases de efeito estufa (GEE) procedentes da produção e uso de energia, <i>per capita</i> e por unidade do PIB	1	2	1	1	1	1	2	1	2
AMB2	Concentrações ambientais de poluentes atmosféricos nas áreas urbanas	2	2	1	1	1	1	2	1	2
AMB3	Emissões de poluentes atmosféricos procedentes dos sistemas energéticos	2	2	1	1	1	1	2	1	2
AMB4	Descargas de contaminantes em efluentes líquidos procedentes dos sistemas energéticos, incluindo as descargas de petróleo	2	1	1	1	1	1	0	1	2
AMB5	Área de solo onde a acidificação excede carga crítica	2	2	1	1	1	1	0	1	0
AMB6	Taxa de desflorestamento atribuída ao uso de energia	1	2	1	1	1	1	0	1	0
AMB7	Relação entre a geração de resíduos sólidos e unidade de energia produzida	2	2	1	1	1	1	0	1	0
AMB8	Relação entre os resíduos sólidos descartados adequadamente pelo total de resíduos sólidos gerados	2	2	1	1	1	1	0	1	0
AMB9	Relação entre os resíduos sólidos radioativos e unidade de energia produzida	2	2	1	1	1	1	0	1	0
AMB10	Relação entre os resíduos sólidos radioativos em espera de destinação e o total de resíduos sólidos radioativos gerados	2	2	1	1	1	1	0	1	0

Quadro 2 – Quadro comparativo de indicadores energéticos

»

Fonte: Adaptado de Almeida (2016).

Legenda

0	Não identificado indicador equivalente ou que possua algum dos componentes do indicador da IAEA
1	Identificado indicador equivalente ao indicador da IAEA
2	Apresenta indicadores com componentes do indicador da IAEA
1 e 2	Identificado indicador equivalente ao indicador da IAEA e indicador com componentes do indicador da IAEA

Os EISDs apresentados no Quadro 2, receberam três tipos diferentes de prefixo, que compõem a sigla de cada EISD, seguindo a apresentação original destes, para que se possa distinguir as três dimensões em que estão classificados. Assim, o prefixo ECO refere-se a indicadores da dimensão econômica, o prefixo SOC a indicadores da dimensão social e, por fim, o prefixo AMB a indicadores da dimensão ambiental.

Das 19 instituições ligadas à pesquisa sobre energia, como se pode observar no Gráfico 1, foi verificado que, em porcentagens aproximadas, 21% (4 instituições) participaram da elaboração dos EISDs, divulgados pela IAEA, 26,4% (5 instituições) apresentaram em seus documentos um conjunto de indicadores voltados para o desenvolvimento sustentável e 52,6% (10 instituições) utilizam os EISDs divulgados pela IAEA. Dessa forma, tem-se aproximadamente 73,6% (14 instituições) de um total de 19 instituições citadas que referenciam os EISDs, divulgados pela IAEA, de forma direta.

Cabe destacar que a Helio International, a Hydro-Québec, a TVA, a OLADE e a WEC, por apresentarem conjuntos de indicadores energéticos voltados para o desenvolvimento sustentável, passíveis de comparação com os EISDs da IAEA, não significa que estas não utilizem estes EISDs em seus estudos, pois em Helio International (2014), por exemplo, encontra-se referência aos EISDs divulgados pela IAEA.

Outro ponto a ser destacado é que a comparação entre os indicadores energéticos possibilita o entendimento de que a maioria das instituições ligadas à pesquisa sobre energia utilizam os EISDs divulgados pela IAEA. Sobre as cinco instituições que apresentam conjuntos de EISDs próprios, durante a comparação, seus indicadores apresentaram alguma relação (1, 2 ou 1 e 2) com os indicadores energéticos da IAEA.

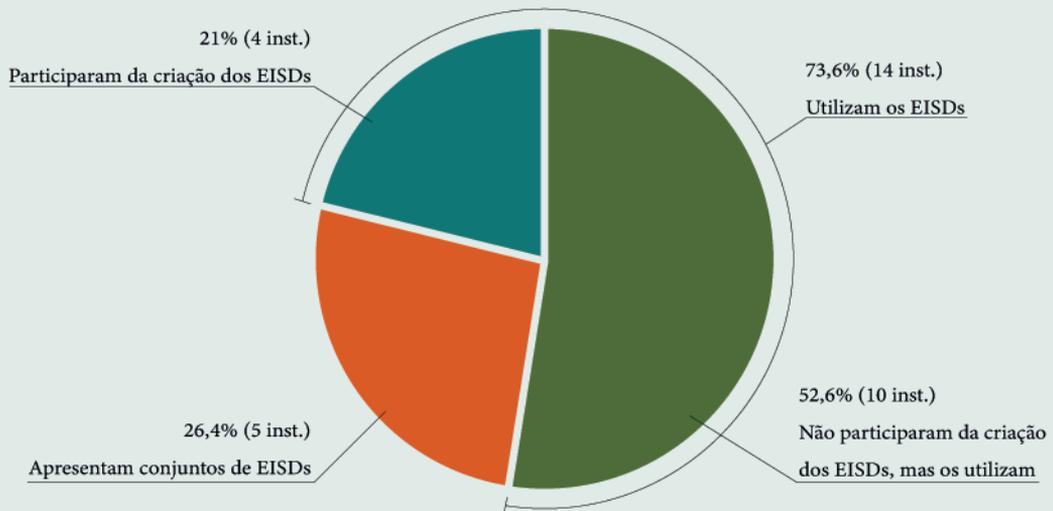


Gráfico 1 – Proporção das instituições que utilizam o conjunto de EISDs, divulgados pela IAEA, e instituições que possuem conjuntos de EISDs próprios
 Fonte: Adaptado de Almeida (2016).

Comparação dos conjuntos de indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável e cenário atual

Com base na comparação, já apresentada, foi possível destacar o alcance dos EISDs divulgados pela IAEA, e os esforços percebidos em algumas instituições ligadas à pesquisa sobre energia, de diferentes países, para aprimorar esse conjunto de EISDs.

Como visto, o conjunto de EISDs divulgado pela IAEA é composto pelo maior número de indicadores dentre os conjuntos pesquisados, além de ser apontado durante a pesquisa como utilizado, de forma total ou parcial, por mais da metade das instituições ligadas à pesquisa sobre energia (73,6%). Devido a isso, o conjunto divulgado pela IAEA foi utilizado como base para se fazer a comparação com conjuntos de indicadores das 15 instituições identificadas como ligadas à pesquisa energética e que não participaram da elaboração dos EISDs divulgados pela IAEA.

Os indicadores energéticos da Helio International e WEC, cuja correspondência com os EISDs não foi verificada, foram somados aos EISDs para fazerem parte do objeto de análise da presente pesquisa. Construiu-se, assim, o Quadro 3 para que se possa reconhecer todos os 55 indicadores energéticos selecionados, ou seja, os 30 EISDs apre-

sentados pela IAEA mais 25 EISDs das outras instituições comparadas e que não tinham correspondentes com os divulgados pela IAEA. Seguindo a classificação original da IAEA em dimensões de análise, foi utilizado o prefixo ECO para indicadores da dimensão econômica, o prefixo SOC para indicadores da dimensão social e o prefixo AMB para indicadores da dimensão ambiental.

	Origem	Sigla	Indicador	Componentes/Parâmetros
1	IAEA	ECO1	Uso de energia <i>per capita</i>	Uso de energia (fornecimento total de energia primária, consumo final total e uso de eletricidade); População total.
2	IAEA	ECO2	Uso de energia por unidade do PIB	Uso de energia (fornecimento total de energia primária, consumo final total e uso de eletricidade); PIB.
3	IAEA	ECO3	Eficiência da conversão e distribuição de energia	Perdas nos sistemas de transformação incluídas as perdas na geração, transmissão e distribuição de eletricidade.
4	IAEA	ECO4	Relação reservas/produção	Reservas recuperáveis comprovadas; Produção total de energia.
5	IAEA	ECO5	Relação recursos/produção	Total de recursos estimados; Produção total de energia.
6	IAEA	ECO6	Intensidades energéticas da indústria	Uso de energia no setor industrial e por ramos de manufaturas; Valor agregado correspondente.
7	IAEA	ECO7	Intensidades energéticas do setor agrícola	Uso de energia no setor agrícola; Valor agregado correspondente.
8	IAEA	ECO8	Intensidades energéticas do setor de serviços/comercial	Uso de energia no setor de serviços/comercial; Valor agregado correspondente.
9	IAEA	ECO9	Intensidade energética residencial	Uso de energia residencial e por usos finais chaves; Número de residências, superfície edificada, pessoas por residência, propriedade de aparelhos elétricos.
10	IAEA	ECO10	Intensidades energéticas do transporte	Uso de energia nos setores de transporte de passageiros e de carga, por modalidade; Passageiros/km percorridos e toneladas/km de carga transportada, por modalidade.
11	IAEA	ECO11	Porcentagens de combustíveis na energia e eletricidade	Fornecimento de energia primária e consumo final, geração de eletricidade e capacidade de geração por tipo de combustível; Fornecimento total de energia primária, consumo final total de energia, geração de eletricidade total e capacidade total de geração.
12	IAEA	ECO12	Porcentagem de energia não baseada no carbono na energia e eletricidade	Fornecimento primário, geração de eletricidade e capacidade de geração por energia não baseada no carbono; Fornecimento total de energia primária, geração total de eletricidade e capacidade total de geração.

»

Origem	Sigla	Indicador	Componentes/Parâmetros	
13	IAEA	ECO13	Porcentagem de energias renováveis na energia e eletricidade	Fornecimento de energia primária, consumo final e geração de eletricidade e capacidade de geração por energias renováveis; Fornecimento total de energia primária e consumo final total de energia, geração de eletricidade total e capacidade de geração total.
14	IAEA	ECO14	Preços da energia de uso final por combustível e setor	Preços da energia (com e sem impostos/subsídios).
15	IAEA	ECO15	Dependência líquida de importações de energia	Importações de energia; Fornecimento total de energia primária.
16	IAEA	ECO16	Reservas de combustíveis críticos por consumo do combustível correspondente	Reservas de combustíveis críticos (por exemplo, petróleo, gás etc.); Consumo de combustíveis críticos.
17	IAEA	SOC1	Porcentagem de residências (ou de população) sem eletricidade ou energia comercial, ou muito dependentes de energias não comerciais	Residências (ou população) sem eletricidade ou energia comercial, ou muito dependentes de energias não comerciais; Número total de residências ou população total.
18	IAEA	SOC2	Porcentagem do rendimento familiar gasto em combustível e eletricidade	Rendimento familiar gasto em combustível e eletricidade; Rendimento familiar (total e 20% mais pobres da população).
19	IAEA	SOC3	Uso residencial de energia por faixa de renda e correspondente combinação de combustíveis utilizados.	Uso de energia por residência para cada faixa de renda (quintis ⁵); Renda familiar por cada faixa de renda (quintis); Combinação de combustíveis utilizada por cada faixa de renda (quintis).
20	IAEA	SOC4	Vítimas mortais de acidentes por energia produzida por cadeia de combustíveis	Vítimas mortais anuais por cadeias de combustíveis; Produção anual de energia.
21	IAEA	AMB1	Emissões de gases de efeito estufa (GEE) procedentes da produção e uso de energia, <i>per capita</i> e por unidade do PIB	Emissões de gases de efeito estufa (GEE) procedentes da produção e uso de energia; População e PIB.
22	IAEA	AMB2	Concentrações ambientais de poluentes atmosféricos nas áreas urbanas	Concentração de poluentes atmosféricos.
23	IAEA	AMB3	Emissões de poluentes atmosféricos procedentes dos sistemas energéticos	Emissões de poluentes atmosféricos.
24	IAEA	AMB4	Descargas de contaminantes em efluentes líquidos procedentes dos sistemas energéticos, incluindo as descargas de petróleo	Descargas de contaminantes em efluentes líquidos.
25	IAEA	AMB5	Área de solo onde a acidificação excede carga crítica	Área de solo afetada; Carga crítica.
26	IAEA	AMB6	Taxa de desflorestamento atribuída ao uso de energia	Área florestal em dois momentos diferentes; Utilização de biomassa.
27	IAEA	AMB7	Relação entre a geração de resíduos sólidos e unidade de energia produzida	Quantidade de resíduos sólidos; Energia produzida.
28	IAEA	AMB8	Relação entre os resíduos sólidos descartados adequadamente pelo total de resíduos sólidos gerados	Quantidade de resíduos sólidos descartados adequadamente; Quantidade total de resíduos sólidos.

»

	Origem	Sigla	Indicador	Componentes/Parâmetros
29	IAEA	AMB9	Relação entre os resíduos sólidos radioativos e unidade de energia produzida	Quantidade de Resíduos radioativos (acumulação durante um período de tempo determinado); Energia produzida.
30	IAEA	AMB10	Relação entre os resíduos sólidos radioativos em espera de destinação e o total de resíduos sólidos radioativos gerados	Quantidade de resíduos radioativos à espera de destinação; Volume total de resíduos radioativos.
31	HELIO	GOV1	Controle de receita	Redução da parcela das receitas de energia que escapam a tributação.
32	HELIO	GOV2	Consulta informada	Audiências e consultas públicas sobre as avaliações de impacto de projetos de energia propostas.
33	HELIO	GOV3	Participação dos cidadãos	A participação ativa da sociedade civil (particularmente as mulheres) no setor da energia.
34	HELIO	GOV4	Administração equilibrada	Representação equilibrada de procura de energia e de abastecimento de partes interessadas (atores), bem como a transparência no processo de tomada de decisão.
35	HELIO	VUL1	Vulnerabilidade no fornecimento de energia térmica	Vulnerabilidade de usinas de energia (e refinarias se aplicável) para inundações.
36	HELIO	VUL2	Vulnerabilidade no sistema de energia renovável	Vulnerabilidade de sistemas de energias renováveis para variações climáticas.
37	HELIO	VUL3	Vulnerabilidade nas linhas de transmissão	Comprimento de linhas de transmissão/redes de distribuição ameaçada por eventos climáticos extremos.
38	HELIO	RES1	Ativos de investimento	Taxa de poupança doméstica/PIB.
39	HELIO	RES2	Mobilização do potencial energético renovável	Proporção de investimento nacional destinados à energia renovável e eficiência energética.
40	HELIO	RES3	Capacidade técnica local	Número de formados anualmente em cursos de ciências e engenharia por população total.
41	HELIO	RES4	Informação científica	Disponibilidade de mapas de risco (inundações, desertificação, contaminação).
42	HELIO	RES5	Diretrizes de instalação de usinas	Diretrizes sobre resiliência às alterações climáticas para o planeamento e implantação de usinas.
43	HELIO	RES6	Gerenciamento de crise	Os planos de emergência para usinas de energia.
44	HELIO	RES7	Seguro	Disponibilidade de apólices de seguros nacionais que são responsáveis por danos relacionadas às mudanças climáticas.
45	WEC	ECO17	Exportações de combustível como uma porcentagem do PIB	Componentes não disponibilizados pela WEC.
46	WEC	POL1	Estabilidade política	Componentes não disponibilizados pela WEC.
47	WEC	POL2	Qualidade regulatória	Componentes não disponibilizados pela WEC.
48	WEC	POL3	Eficácia do governo	Componentes não disponibilizados pela WEC.
49	WEC	SOC5	Controle da corrupção	Componentes não disponibilizados pela WEC.
50	WEC	SOC6	Estado de Direito	Componentes não disponibilizados pela WEC.
51	WEC	SOC7	Qualidade da educação	Componentes não disponibilizados pela WEC.

	Origem	Sigla	Indicador	Componentes/Parâmetros
52	WEC	SOC8	Qualidade de saúde	Componentes não disponibilizados pela WEC.
53	WEC	SOC9	Custo de vida	Componentes não disponibilizados pela WEC.
54	WEC	ECO18	Estabilidade macroeconômica	Componentes não disponibilizados pela WEC.
55	WEC	ECO19	Disponibilidade de crédito para o setor privado	Componentes não disponibilizados pela WEC.

Quadro 3 – Indicadores selecionados e seus componentes

Fonte: Adaptado de Almeida (2016).

Dos indicadores adicionados com base na Helio International, apresentados no Quadro 3, estes encontram-se originalmente classificados em governança (GOV), vulnerabilidade (VUL) e resiliência (RES). Já os indicadores da WEC estão classificados em fortalecimento social (SOC), fortalecimento político (POL) e fortalecimento econômico (ECO). As abreviações para estas classificações foram feitas durante a pesquisa para se obter maior clareza na análise.

5 Quintil representa um quinto (1/5) qualquer de uma variável, a qual foi dividida em cinco partes iguais.

Optou-se, por questões de simplificação, por utilizar para o fortalecimento econômico e fortalecimento social as mesmas abreviações de dimensão econômica e dimensão social, apresentadas pela IAEA, respectivamente SOC e ECO. Assim, para a parte numérica da sigla utilizou-se a forma sequencial, dando continuidade à contagem iniciada com os EISDs da IAEA.

As classificações governança, vulnerabilidade e resiliência são destacadas, em Helio International (2014), como pontos de informação adicionais aos EISDs, divulgados pela IAEA. Tal incremento tem como objetivo aumentar o volume de informação à disposição dos tomadores de decisão e, principalmente, possibilitar a construção de políticas energéticas viáveis em longo prazo. A governança remete-se à competência técnica e cívica, a vulnerabilidade está ligada diretamente a impactos relacionados a alterações climáticas e a resiliência dos sistemas de energia.

Apesar de a WEC recomendar a utilização dos 11 indicadores adicionados à presente seleção, considerando-os nas decisões sobre energia voltada para o desenvolvimento sustentável, em seus documentos não foram localizadas as respectivas metodologias. Isso impossibilita identificar exatamente quais componentes foram utilizados para calcular os indicadores em questão. No que se refere aos outros indicadores, presentes no conjunto apresentado pela WEC e que coincidem com os EISDs divulgados pela IAEA, estes possuem a indicação dos seus componentes, o que permitiu a

comparação. No Quadro 3, como visto, os 55 EISDs são melhor detalhados, com suas respectivas instituições de origem, siglas correspondentes as sete classificações utilizadas durante a análise, e seus componentes, quando disponibilizados.

A Helio International apresenta uma divisão do seu conjunto de indicadores em sete tipos: ambiental; social; econômico; tecnológico; governança; vulnerabilidade e resiliência. Destes, os indicadores dos quatro primeiros tipos possuem correspondente com os EISDs divulgados pela IAEA, por isso não foram detalhados, sendo adicionados à seleção, de forma integral, somente os indicadores dos três últimos tipos.

Quanto aos indicadores originados da WEC, estes são divididos em dois tipos de indicador: (1) performance energética, dividida em: (a) segurança energética; (b) equidade energética e (c) sustentabilidade ambiental. Este tipo de indicador é o que contém indicadores que possuem correspondência com os EISDs, divulgados pela IAEA. Contudo, o indicador ECO17 – classificado pela WEC em segurança energética – foi o único cujos componentes não foram identificados como correspondente a nenhum EISD comparado; (2) performance contextual, dividida em: (a) fortalecimento político; (b) fortalecimento social e (c) fortalecimento econômico. Dos indicadores que formam a performance contextual, não foram encontrados os componentes e nem correspondência com os EISDs divulgados pela IAEA.

Considerações Finais

Para alcançar o resultado da análise comparativa dos indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável, foi necessária uma pesquisa aprofundada sobre: a origem e o desenvolvimento destes indicadores; quais são as instituições ligadas à pesquisa sobre energia, que são citadas na literatura quando se pesquisa sobre EISD; a própria utilização dos indicadores divulgados pela IAEA ao redor do globo.

Sobre a criação dos EISDs a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio-92) foi o ponto de inflexão dos indicadores energéticos focados em questões econômicas, ou de eficiência, para um conjunto de indicadores mais complexo, englobando também questões sociais e ambientais. Posteriormente, com a comparação dos EISDs selecionados na pesquisa, pôde-se identificar indicadores classificados em novas dimensões, além das elencadas pela IAEA, como por exemplo: governança (GOV), vulnerabilidade (VUL), resiliência (RES) e fortalecimento político (POL).

Tal identificação – de dimensões na classificação dos EISDs selecionados – bem como a verificação de indicadores que diferem dos divulgados pela IAEA, revela que alguns países seguiram a indicação de avaliar e desenvolver o conjunto de EISDs com base em sua realidade, ou seja, considerando as especificidades de uma matriz energética em particular.

Com relação às instituições ligadas à pesquisa sobre energia, que são citadas na literatura quando se pesquisa sobre EISD, foram identificadas 19 instituições, de dez nacionalidades distintas, sendo elas: Brasil (ANEEL; Petrobrás; EPE e MME), França (Helio International), Canadá (Hydro-Québec), Japão (ANRE; FEPC; e Ministry of Economy, Trade and Industry), China (Energy Foundation China), Índia (SHAKTI), Europa (European Statistics), Nações Unidas (IAEA; IEA; IPCC; UN-ENERGY e WEC), Estados Unidos (TVA) e América Latina e Caribe (OLADE).

O levantamento destas instituições ligadas à pesquisa sobre energia, representando diversas partes do globo, auxilia a perceber a difusão do conjunto dos EISDs divulgados pela IAEA. Demonstrando, também, que a discussão sobre desenvolvimento sustentável na área energética não foi algo pontual e que seria de interesse que houvesse o desenvolvimento de uma gama maior de indicadores, voltados ao tema para servir de base para o planejamento e tomada de decisão.

No entanto, ao se obter os dados sobre a utilização dos indicadores divulgados pela IAEA pelas instituições analisadas, percebe-se que, mesmo tendo passado mais de uma década da sua criação, o conjunto com os 30 EISDs divulgados pela IAEA, permanece como o conjunto com o maior número de indicadores. Isso fez com que este conjunto fosse utilizado como base de comparação para a pesquisa, mas pode-se destacar como outros conjuntos amplos o da Helio International (24 EISDs) e da WEC (23 EISDs).

Ainda sobre a utilização dos EISDs pelas instituições analisadas, chegou-se ao total de 55 indicadores, com base na soma dos 30 EISDs, da IAEA, com os 25 EISDs que não possuíam nenhuma correspondência com o conjunto base. Apesar de, no total, os indicadores selecionados serem quase o dobro dos EISDs divulgados pela IAEA, o número de instituições que apresentaram algum EISD sem correspondência com os divulgados pela IAEA foi de apenas cinco instituições, ou seja, 26,4% das instituições comparadas.

A proporção de 73,4% (14 instituições), que utilizam ou participam da criação dos EISDs divulgados pela IAEA pode sinalizar que, apesar de se ter ampliado a discussão sobre o desenvolvimento sustentável, deve ser retomada a ideia de se desenvolver pesquisas para a formação de conjuntos de EISDs que atendam as especificidades de cada região e composição de matriz energética. Por outro lado, quando desenvolvidos novos EISDs, é necessário que os componentes dos indicadores sejam apresentados, para que o cálculo destes não dependa da subjetividade do pesquisador.

Um exemplo da necessidade de clareza sobre a composição dos EISDs são os indicadores apresentados pelo WEC (do ECO17 a ECO19, do POL1 a POL2 e do SOC5 a SOC9), presentes do Quadro 3. Isso porque, apesar de demonstrar um esforço da instituição em trazer novos elementos para o conjunto de EISDs, devido ao fato de serem de difícil quantificação, o não detalhamento dos componentes utilizados para o cálculo dos indicadores inviabiliza que o método de coleta de dados possa ser reproduzido por outras instituições, ou até mesmo pela própria.

Referências

ALMEIDA, A. R. de. **Indicadores energéticos**: instrumentos de apoio ao desenvolvimento sustentável. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ANRE. **Consolidated list of energy efficiency recommendations prepared by the IEA for the G8 under the Gleneagles Plan of Action**. Japan: ANRE, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético nacional 2015**: ano base 2014. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2015. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-127/topico-97/Relat%C3%B3rio%20Final%202015.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CAMARGO, A. S. G. de; UGAYA, C. M. L.; AGUDELO, L. P. P. Proposta de definição de indicadores de sustentabilidade para geração de energia elétrica. **Revista Educação & Tecnologia**, [s. l.], n. 8, p. 1-21, 2004.

EIA. **Petroleum chronology of events 1970 – 2000**. United States: United States Energy Information Administration, 2002. Disponível em: http://www.eia.gov/pub/oil_gas/petroleum/analysis_publications/chronology/petroleumchronology2000.htm#T_16_. Acesso em: 26 jul. 2015.

HELIO INTERNATIONAL. **Traitement de l'Information pour des Politiques Énergétiques favorisant l'Écodéveloppement (TIPEE)**. Paris: Helio International, 2014. Disponível em: http://helio-international.org/wp-content/uploads/2014/07/HELIO_Guide_TIPEE-FR.pdf. Acesso em: 12 nov. 2022.

HYDRO-QUÉBEC. **Hydro-Québec Sustainable Report 2013**. Montreal: Hydro-Québec, 2014. Disponível em: <https://www.hydroquebec.com/data/documents-donnees/pdf/sustainability-report-2013.pdf>. Acesso em: 1 set. 2018.

HYDRO-QUÉBEC. **Hydro-Québec Sustainable Report 2014**. Montreal: Hydro-Québec, 2015. Disponível em: <https://www.hydroquebec.com/data/documents-donnees/pdf/sustainability-report-2014.pdf>. Acesso em: 1 set. 2018.

IAEA. **Energy indicators for sustainable development-guidelines and methodologies**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.

IAEA. **Association Countries**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2016. Disponível em: <https://www.iaea.org/countries>. Acesso em: 12 nov. 2022.

IPCC. **Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change**. New York: Cambridge University Press, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 16 dez. 2017.

OECD. **Environment at a Glance: OECD environmental indicators**. Paris: OECD Publishing, 2005.

OLADE. **Energía y desarrollo sustentable em América Latina y el Caribe**: guía para la formulación de políticas energéticas. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2003. Disponível em: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/27838/S2003004_es.pdf?sequence=1. Acesso em: 2 out. 2018.

PATUSCO, J. A. M. **Ministério de Minas e Energia**. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: a_ripka@hotmail.com. 15 maio 2015..

PEDERNEIRAS, F. L. **Padronização metodológica de balanços energéticos e seu impacto no uso de indicadores**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

PERALTA FÉLIX, E. I., Instituciones y economía: una introducción al neoinstitucionalismo económico. **Région y Sociedad**, [s. l.], v. 13, n. 22, p. 193-197, 2001.

PEREIRA JUNIOR, A. O. *et al.* Indicadores energéticos para o desenvolvimento sustentável: uma análise a partir do Plano Nacional de Energia. In: PEREIRA, T. C. G. (org.). **Energias renováveis**: políticas públicas e planejamento energético. Curitiba: COPEL, 2013. p. 46-64.

SHAKTI SUSTAINABLE ENERGY FOUNDATION. **Energy dialogues – 2013 - 2014**. Índia: SHAKTI, 2015. Disponível em: <https://shaktifoundation.in/wp-content/uploads/2017/06/SSEF-A-R-LOWRES-S-witout-fsc-logo.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

TVA. **Strategic Sustainability Performance Plan 2014**. Tennessee: TVA, 2014. Disponível em: https://www.tva.gov/file_source/TVA/

Site%20Content/About%20TVA/Guidelines%20and%20Reports/Sustainability%20Plans%20and%20Performance/TVA_Strategic_Sustainability_Performance_Plan_2014.pdf. Acesso em: 15 set. 2015.

TVA. **Strategic Sustainability Performance Plan 2013**. Tennessee: TVA, 2013. Disponível em: https://www.tva.gov/file_source/TVA/Site%20Content/About%20TVA/Guidelines%20and%20Reports/Sustainability%20Plans%20and%20Performance/TVA_Strategic_Sustainability_Performance_Plan_2013-2.pdf. Acesso em: 15 set. 2015.

VERA, I.; LANGLOIS, L. Energy indicators for sustainable development. **Energy**, [s. l.], v. 32, n. 6, p. 875-882, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544206002337> Acesso em: 12 nov. 2022.

WORLD ENERGY COUNCIL. **Energy Trilemma Index**: benchmarking the sustainability of national energy systems. London: World Energy Council, 2015. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2015/11/20151030-Index-report-PDF.pdf>. Acesso em: 2 out. 2018.



Metodologia para a obtenção da matriz de decisão em energia hidrelétrica no estado do Paraná com o uso do método multicritério

Andréa de Souza
Christian Luiz da Silva
Alain Hernández Santoyo

Introdução

O encaminhamento da política energética da maioria dos países em desenvolvimento está cada vez mais associado ao desenho da política econômica, dos critérios de regulação e legislação dos mercados, bem como a efeitos indesejados pelo uso indevido e pressão sobre os recursos naturais do planeta (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2012).

No caso do Brasil, para atender a demanda das residências, do comércio e da maior parte das indústrias, a eletricidade é gerada basicamente por centrais hidrelétricas. O país é internacionalmente conhecido pela sua matriz energética majoritariamente renovável, sendo que 65% da eletricidade gerada advêm de hidrelétricas (BRASIL, 2015a). O Paraná detém 12,9% do total da capacidade instalada nacional e é responsável por 16,47% da energia elétrica gerada no país (BRASIL, 2015a).

A pesquisa deste capítulo se propôs a apresentar uma metodologia para a obtenção de uma matriz de decisão em energia hidrelétrica no estado do Paraná com o uso do método multicritério. Com base na opinião de especialistas do setor elétrico local e com a aplicação do Método Delphi, foi validado o conjunto de variáveis deste estudo, que posteriormente foram hierarquizadas e pareadas com o uso da Análise Hierárquica de Processo (AHP).

Esse exercício envolveu profissionais da iniciativa pública e privada, de distintos órgãos de regulação e licenciamento em nível federal, estadual e municipal, a participação de professores universitários especialistas do setor elétrico. Como resultado, obteve-se uma árvore de decisão que mostra um mapa geral de todas as dimensões da energia, a ordem de priorização e pesos relativos de cada variável na tomada de decisão em projetos de empreendimentos hidrelétricos.

O setor elétrico no Brasil e no Paraná

Esta seção traça um panorama da eletricidade no Brasil e no estado no Paraná.

O setor elétrico brasileiro

A hidroeletricidade é extensivamente utilizada em mais de 160 países e, seguindo a tendência mundial, o Brasil vem apresentando significativas alterações estruturais em sua matriz energética, aumentando a sua participação no uso de energias renováveis (BRASIL, 2015a; MACFARLANE, 2007).

Em 2014, o país ocupava a terceira posição em produção de hidroeletricidade no total global (10,2%) e, em potencial hidráulico, ocupava a quarta posição global (1250 TWh) ou 7,8%, segundo o último levantamento, de 2011. Nota-se que a terceira maior potência hídrica, estimada em 82,5 GW ou 7,7% do total global, estava localizada no Brasil (BRASIL, 2015a).

A presença de hidrelétricas na matriz elétrica brasileira foi impulsionada na década de 1970, durante o governo da ditadura militar. Desde então, essa fonte constituiu-se numa vantagem competitiva relevante e a construção de novos empreendimentos deve atender a uma das mais exigentes legislações ambientais do mundo. A geração hidráulica alcançou 407,2 TWh no ano de 2014, respondendo por 65,2% da matriz elétrica nacional (BRASIL, 2014).

Atualmente, mais de 4405 empreendimentos estão em operação no Brasil, perfazendo um total de 140 271 642 kW de potência instalada no sistema, sendo que as fontes renováveis representaram 74,6% da oferta interna de eletricidade (BRASIL, 2015b).

O Brasil atravessou dois períodos de escassez de chuvas, o que gerou uma severa crise de abastecimento de eletricidade em 2001 e, mais recentemente, outro déficit de energia entre 2012–2014.

Para compensar a redução da oferta de eletricidade, o governo brasileiro autorizou o acionamento das usinas termelétricas, o que gerou questionamento entre os agentes do setor quanto ao uso de energia de uma fonte mais cara e de maior potencial poluente (BRASIL, 2015b).

No horizonte, até 2024, o Brasil continuará expandindo a matriz elétrica com base na hidroeletricidade, observando-se que a política energética local é orientada por objetivos que devem garantir o acesso à eletricidade com serviços de qualidade e preços justos, aliados ao manejo sustentável dos recursos naturais (BRASIL, 2007; TOLMASQUIM, 2012).

O setor elétrico paranaense

A economia paranaense representa 6,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, fortemente ancorada no agronegócio, posicionando o estado como o maior produtor nacional de grãos. A autossuficiência energética do Paraná é garantida por um amplo parque gerador público e privado e pela presença da Hidrelétrica de Itaipu (IPARDES, 2015).

O estado do Paraná tem sido um dos maiores produtores de energia elétrica do país, quase em sua totalidade oriunda da força dos rios Paraná, Iguaçu e Paranapanema. Dos 260 GW de potencial de geração brasileiro, 23% são oriundos da Bacia do Paraná, que abrange os seguintes estados: Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás, Santa Catarina e o território do Distrito Federal (BRASIL, 2011).

No que tange à Política Energética, a Companhia Paranaense de Energia (Copel) integra o Conselho Estadual de Energia e é o órgão executor do planejamento do estado. De acordo com o Plano Decenal de Energia 2024, "A carga do estado do Paraná, que corresponde a 39% do total da região Sul, apresenta um crescimento anual médio de 3,5% no período decenal para o patamar de carga pesada" (BRASIL, 2015b, p. 227).

A capacidade instalada do Paraná em 2014 correspondeu a 12,9% do total da capacidade nacional e foi responsável por 16,47% do total da energia elétrica gerada no país. O consumo *per capita* de eletricidade dos paranaenses tem se mostrado crescente, em média 2 600 kWh/hab, no período 2012–2015, ou 2% superior à média nacional de 2.550 kWh/hab no mesmo período (BRASIL, 2015b).

O futuro do abastecimento de eletricidade do Paraná está concentrado no potencial das pequenas centrais hidrelétricas e do biogás. Essa intenção está expressa no Plano de Expansão 2024 (BRASIL, 2015b), onde estão previstos sete projetos de aproveitamentos hidroelétricos no Baixo Iguaçu, Apertados, Telêmaco Borba, Foz Piquiri, Ericlândia, Comissário e Paranhos.

Definição das dimensões da energia e das variáveis da matriz multicritério

Neste estudo, as dimensões da energia e suas variáveis foram consideradas nas perspectivas ambiental, econômica, social e institucional. O objetivo foi desenhar um mapa geral das dimensões da energia e suas variáveis, com a possibilidade de se combinar diferentes critérios, variáveis e seus pesos relativos, contribuindo para desenhar melhores estratégias para os agentes decisórios, segundo a tendência do planejamento energético nacional e local.

No design da matriz multicritério, foram definidas as quatro dimensões da energia deste estudo, e o primeiro conjunto teórico de variáveis com base no resultado dos trabalhos de Andrade (2012); Coehn (2002); Freitas (2011); Kalinowski (2011); Kamogawa (2008); Oliveira (2012); Raizer (2011); Santos (2010); Sieben (2012); Silva (2006) e Simioni (2006). Foi utilizado o critério da recorrência de termos (número de vezes em que foram abordados como variáveis-chaves nesses estudos). Também foram analisados artigos científicos de periódicos internacionais e nacionais, além das publicações entre os países considerados os maiores produtores de energia hidrelétrica, de acordo com os critérios da Agência Internacional de Energia no período 2010 a 2014.

Foram identificadas 48 variáveis distribuídas em quatro dimensões da energia. Essas variáveis foram selecionadas pelo seu potencial de afetar direta ou indiretamente o processo de tomada de decisão na expansão da oferta de energia por meio das hidrelétricas, resultando na construção do modelo teórico conforme mostrado na Figura 1.

O próximo passo foi submeter o modelo teórico-metodológico à análise e julgamento dos especialistas paranaenses, observando-se as exigências propostas pelo Método Delphi.

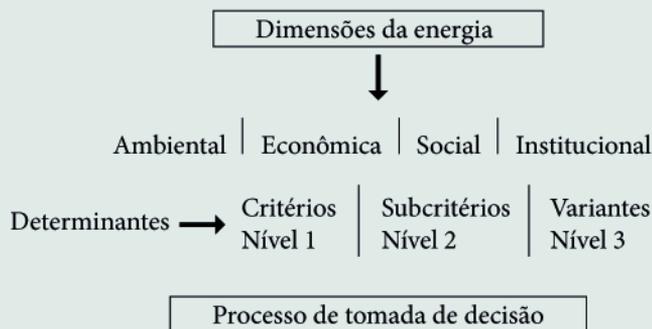


Figura 1 – Modelo teórico

Fonte: Autoria própria.

Seleção do grupo de especialistas com base no Método Delphi

Para validar e/ou incorporar novas variáveis ao estudo, foi utilizado o Método Delphi. Este método baseia-se no princípio da inteligência coletiva e tenta alcançar um consenso de opiniões expressadas individualmente por um grupo de pessoas selecionadas cuidadosamente, como especialistas (*experts*) qualificados (BRAVO ESTÉVEZ; ARRIETA GALLASTEGUI, 2005).

Na seleção dos especialistas desta pesquisa, foram consideradas as premissas de Crespo (2007) e Linstone e Turoff (2002), que se baseiam no procedimento de autoavaliação, segundo o qual os próprios especialistas avaliam suas competências e fontes que permitam argumentar e sustentar suas opiniões a respeito do tema investigado.

O coeficiente de competência (K_{comp}) de cada participante foi medido com base no critério de Crespo (2007), o qual é formado com base no coeficiente de conhecimento (K_c) e o coeficiente de argumentação ou fundamentação (K_a) e tem sua medida por meio da expressão:

$$K_{comp} = \frac{1}{2} (K_c + K_a)$$

O coeficiente de competência dos especialistas foi calculado com base nos dados obtidos em K_c e K_a , resultando na seguinte escala para sua interpretação: se $0,8 \leq K_{comp} < 1,0$ o coeficiente de competência se considera alto; se $0,5 \leq K_{comp} < 0,8$ o coeficiente de competência se considera médio; se $K_{comp} < 0,5$ o coeficiente de competência se considera baixo.

Para fins desta pesquisa, especialista é o sujeito que atua ou atuou em empresas públicas, privadas ou mistas do setor elétrico paranaense, em autarquias, em conselhos, em associações e/ou universidades ou órgãos vinculados a licenciamento ambiental. A diversidade de formação fortemente recomendada por Ruiz Olabuénaga e Ispizua Uribarri (1989) foi criteriosamente observada e atendeu à necessidade de conhecimento nas distintas dimensões da energia que foram tratadas neste estudo.

Não foi encontrado na literatura consenso sobre o número ideal de participantes em estudos com o uso do Método Delphi, de modo que Delbecq, Van de Vem e Gustafson (1975), Fink *et al.* (1991), Hasson, Keeney e McKenna (2000) e Vergara (2008) sugerem que o número de especialistas deve variar de acordo com o âmbito do problema e dos recursos disponíveis para a aplicação da técnica. Autores como Malla e Zabala (1978) definem entre 15 e 20 especialistas; Gordon (1994), entre 15 e 35; Landeta (2002), entre 7 e 30; e León e Montero (2004), entre 10 e 30.

Obtenções das preferências individuais dos especialistas com base na Análise Hierárquica de Processo (AHP)

O método multicritério conhecido por AHP foi desenvolvido pelo matemático Thomas Lorie Saaty para resolver problemas de complexidade de múltiplos critérios. Essa proposição permite que o agente decisório possa estruturar um problema multicriterial em forma visual por meio da construção de um modelo hierárquico (SAATY, 1997).

O AHP é utilizado para ordenar hierarquicamente um conjunto de preferências, possibilitando a comparação binária e a atribuição de valores numéricos a juízos subjetivos, sintetizando-os e agregando soluções parciais em uma única solução. O método possibilita organizar a informação correspondente a um problema de decisão, o qual se faz a sua decomposição e análise por partes, visualizando os efeitos diante de mudanças nos níveis (MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, 2007).

Neste estudo, as preferências individuais no conjunto total de variáveis associadas a cada uma das dimensões da energia foram obtidas com a utilização do método. Foi aplicado um novo questionário junto ao mesmo grupo que utilizou o Método Delphi, para atribuir o grau de importância para as variáveis selecionadas.

Por meio de comparações binárias, os especialistas confrontaram qual variável foi considerada mais importante para tomada de decisão dentro de cada dimensão da energia analisada. O AHP trata diretamente com pares ordenados de prioridades de importância, preferência ou probabilidade de pares de elementos, em função de um atributo ou critério comum, representado diretamente na hierarquia da decisão. Cada especialista elabora sua própria hierarquia e o AHP combina os resultados (MURPHY, 1993; SAATY, 1990).

O resultado é sustentado matematicamente pelo método AHP, viabilizando: (a) a possibilidade de se esgotar e analisar problemas em partes; (b) a medição de critérios qualitativos e quantitativos utilizando-se uma escala comum; (c) a possibilidade de se verificar o Índice de Consistência (IC); e (d) a geração do processo de síntese e análise de sensibilidade (SANTOYO, 2012).

A informação que se demanda, neste caso, é respondida por uma matriz quadrada que contém comparações pareadas de alternativas e critérios, onde se representa uma escala para distinguir as preferências que podem ser estabelecidas entre duas alternativas. O Quadro 1 mostra a escala de Saaty (1980) utilizada neste estudo:

Escala numérica	Escala verbal	Explicação
1	Igual importância	Os dois elementos contribuem igualmente à propriedade ou critério
3	Moderadamente mais importante um elemento que o outro	O julgamento e a experiência prévia dão favorecimento a um elemento frente ao outro
5	Fortemente mais importante um elemento que o outro	O julgamento e a experiência prévia favorecem fortemente um elemento frente ao outro
7	Muito mais forte a importância de um elemento do que o outro	Um elemento domina fortemente. O domínio está comprovado com a prática
9	Importância extrema de um elemento	Um elemento domina o outro com maior ordem marginal possível
2; 4; 6; 8	Importância intermediária	Valor intermediário caso a classificação adotada se enquadre entre as importâncias definidas

Quadro 1 – Escala fundamental de comparações pareadas
 Fonte: Adaptado de Aznar e Estruch (2007) e Saaty (1980).

Em relação a esta análise, quando se comparam as alternativas duas a duas utilizando somente um critério e fazendo uso da escala fundamental de comparação, obtêm-se matrizes quadradas ($A = a_{ij}$). Essas matrizes devem cumprir com as propriedades de reciprocidade, homogeneidade e consistência (AZNAR; ESTRUCH, 2007).

O próximo passo consistiu no cálculo da prioridade de cada um dos elementos que se comparam. Este processo é conhecido matematicamente como priorização e síntese (AGUARÓN; MORENO-JIMÉNEZ, 2003). O procedimento requer o cálculo de determinados valores que formam os vetores associados a cada matriz de comparação pareada. Este resultado é necessário para se obter a matriz de comparação pareada normalizada e seu vetor correspondente próprio.

Para se obter o vetor de prioridades correspondentes às alternativas em função do critério analisado, calculou-se a média aritmética para cada fila ou alternativa da matriz de comparação pareada normalizada, obtendo-se desta forma o vetor próprio correspondente de ordem $n \times 1$ (ROCHA; VEJO, 2005). Santoyo (2012) afirma que a comparação por pares é utilizada para a obtenção de juízos sobre a importância e intensidade de um componente frente a outro.

Com respeito à qualidade da decisão, deve-se verificar a consistência dos juízos emitidos pelos especialistas, considerando-se que a consistência perfeita é muito rara. Uma das vantagens do AHP é justamente considerar as possíveis inconsistências dos julgamentos e, nesse caso, se incorporou a análise e o cálculo da Razão de Consistência (RC) para medir a qualidade dos juízos emitidos pelo especialista (SANTOYO, 2012).

Esta razão se define como o cociente entre o IC e o Índice Randômico de Consistência Aleatória (IA) (GARCÍA *et al.*, 2006; SAATY, 1980). De acordo com Saaty (1990, 1997), considera-se que o vetor de prioridades tem uma inconsistência aceitável quando o RC é menor que 10% para matrizes $n \geq 5$, 5% para $n = 3$ e 8% para $n = 4$.

Procedimento de agregação das preferências individuais

O fator de agregação é dado pela média geométrica dos respondentes e depois normalizado para o peso relativo de cada uma das alternativas. Costuma-se apontá-la por \bar{x}_g . Com n valores x_1, x_2, \dots, x_n , a média geométrica desses valores será dada por:

$$\bar{x}_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} \quad \text{ou} \quad \bar{x}_g = \sqrt[n]{\prod x_i}$$

Onde a letra π (*pi* maiúsculo) é o símbolo para indicar o produto, também chamado de produto dos valores da variável.

Uma vez agregadas as preferências individuais, se dispõe do vetor de pesos globais do conjunto de especialistas em relação ao modelo teórico proposto e inferido na Figura 1.

Nota-se que a metodologia multicritério, em relação às metodologias tradicionais, se diferencia pelo grau de agrupamento dos valores subjetivos dos modelos de avaliação, permitindo que uma mesma alternativa seja analisada de forma distinta de acordo com os critérios de valor individual atribuído por cada especialista (ZELENY, 1994).

As dimensões da energia e as variáveis do estudo proposto

Uma economia pautada em princípios de sustentabilidade pressupõe a capacidade de seus governantes de alocar fatores de produção de forma ótima, respeitando-se os limites físicos impostos à natureza.

Diante disso, a tomada de decisão exige uma leitura integrada dos contextos econômicos, sociais, ambientais e institucionais dos fatores de produção. Conforme verificado em Bermann (2007), Goldemberg (2010), Bermann (2007), Georgescu-Roegen (2012), Reis, Fadigas e Carvalho (2012), Sachs, Dowbor e Lopes (2010), Silva (2008) e Simioni (2006), para citar os principais autores, o planejamento energético não pode se furtar de considerar as quatro dimensões da energia, em seus contextos coletivos, ao estabelecer estratégias para o uso dos recursos produtivos do país.

As variáveis estão interconectadas e uma decisão interfere diretamente no comportamento potencial de uma ou de todas as demais variáveis em seus respectivos contextos. O planejamento energético deve ser orientado para atender as exigências da demanda global e igualmente as especificidades do espaço local.

Entre os autores nacionais, foram consultados os trabalhos de Augusto *et al.* (2012), Bermann (2007), Bursztyn (2012), Castro, Leite e Dantas (2011), Cerveira Filho (2012), Conceição e Seixas (2013), Goldemberg e Moreira (2005), Hage (2012), Moretto *et al.* (2012), Pires, Fernandez e Bueno (2006), Sauer (2013), Sevá Filho (2008), Tolmasquim (2012), Ventura Filho (2013) e Vichi e Mansor (2009).

Na literatura internacional, dentre os principais trabalhos, destacam-se os estudos de Flanders *et al.* (2009), Fridleifsson (2010), Gasho e Stepanova (2013), Kaldellis, Kapsali e Katsanou (2012), Macfarlane (2007) e Thorvald (2007).

Caracterização dos especialistas e validação das variáveis pelo Método Delphi

Na primeira rodada do Delphi, participaram 28 especialistas e, na segunda rodada, 21 especialistas. O total de especialistas efetivamente consultados (21 e 28) atende aos requisitos propostos pela metodologia Delphi quanto ao número mínimo de participantes de um estudo dessa envergadura.

O coeficiente de competência dos especialistas foi calculado rigorosamente com base nos critérios de Linstone e Turoff (2002) e Crespo (2007). Foi garantido o anonimato absoluto dos participantes, de forma a proteger suas opiniões e julgamentos pessoais.

Dos especialistas consultados, 42,85% estão vinculados a autarquias, conselhos e associações, 28,57% estão vinculados ao setor privado e é constituído por profissionais de empresas de autogeração e 19,04% são procedentes de empresas mistas com políticas voltadas ao atendimento de normas e regulamentações previstas por órgãos ambientais. Da área acadêmica, com dedicação exclusiva ao ensino e pesquisa, foram identificados 9,02% respondentes.

Foi apurado que 62% dos especialistas possuem coeficiente de conhecimento alto; 28,5% coeficiente de conhecimento médio; e apenas 9,5% apresentaram coeficiente de conhecimento baixo. Esse resultado corrobora autores considerados referência em aplicação de Método Delphi e que são citados de forma recorrente em pesquisas similares, como Bravo Estévez e Arrieta Gallastegui (2005), Ruiz Olabuénaga e Ispizua Uribarri (1989) e Delbecq, Van de Ven e Gustafson (1975).

Crespo (2007) recomenda a seleção de especialistas de diferentes formações e áreas de atuação, a fim de garantir maior heterogeneidade na obtenção de consenso de opiniões. Adicionalmente, Hsu e Sandford (2007) e Youssuf (2007) recomendam considerar a importância ou os interesses dos especialistas relacionados com o problema em análise e o resultado prático para sua atividade profissional.

Essa condição foi satisfeita, uma vez que os 21 especialistas participantes deste estudo estiveram presentes nas três etapas de aplicação da coleta de dados, manifestando total comprometimento com o objetivo proposto. Nota-se que a participação de cada *expert* foi absolutamente voluntária.

Foi utilizado o Método Delphi para validação das variáveis do nível 3, aqui definidas como R1 (primeira rodada) e R2 (segunda rodada). O objetivo nessa fase foi alcançar o consenso de opinião entre os respondentes. As variáveis foram julgadas numa escala de 1–5, no qual 1 representava que a variável individualmente julgada era nada importante e 5 extremamente importante. Os resultados apurados são mostrados no Quadro 2.

Tais resultados confirmam a pertinência da proposta metodológica, especificamente quando se observam os resultados da R2, quando um maior consenso do conjunto de especialistas é alcançado ($R2 = 0,7978$) com relação à rodada anterior ($R1 = 0,4256$).

	Rodada (R1)	Rodada (R2)
Número de respondentes	28	21
Número de variáveis avaliadas	48	48
Dimensões da energia	Ambiental, econômica, social e institucional	Ambiental, econômica, social e institucional
Total de julgamentos	1.344	1.008
Coefficiente de Concordância de Kendall	0,4256	0,7978
Concordância entre os especialistas quanto às variáveis definidas para aplicação do Método AHP	Válida	Válida

Quadro 2 – Síntese da aplicação do Método Delphi

Fonte: Autoria própria.

Numa avaliação probabilística, este valor apresentou no teste de hipóteses desenvolvido para esta estatística um p-valor menor que 0,0001, também indicando fortes evidências para se rejeitar a hipótese nula, o que significa rejeitar a não concordância dos avaliadores.

Em síntese, todas as 48 variáveis experimentadas nesta aplicação do Método Delphi (em R2) foram classificadas como muito importantes, isto é, todos os valores da coluna N-P desta rodada encontram-se entre 4,84 e 31,43; logo, todas as variáveis foram mantidas para a sequência do estudo.

Obtenção das preferências individuais e procedimento de agregação

Os especialistas utilizaram o Método Delphi para atribuir grau de importância às variáveis selecionadas e o Método AHP para estabelecer os pesos relativos. Observe-se que a construção de um modelo de decisão dessa natureza é flexível e reflete o contexto do setor elétrico paranaense no ano de 2015, ficando em aberto a

possibilidade de se agregar outros elementos e ampliar o estudo de acordo com novos contextos.

Análise geral dos resultados da matriz de decisão multicritério

A Figura 2, árvore de decisão, sintetiza o levantamento das variáveis, validação e consenso entre especialistas com a aplicação do Método Delphi e ordem de priorização com o uso do AHP.

Procurou-se identificar o maior número possível de critérios, subcritérios e variáveis para validação do modelo teórico proposto, e, nesse sentido, a aplicação do Método Delphi e da AHP foi adequada para coletar as opiniões e tratar os resultados por meio de métodos estatísticos, conferindo maior confiabilidade aos potenciais usuários desses resultados.

O recorte desta pesquisa foi o estado do Paraná e os especialistas selecionados se restringiram ao mercado local. Trata-se de um grupo heterogêneo, com experiência profissional média de 15 anos atuando em distintos segmentos do setor elétrico e da estrutura econômica paranaense.

A abordagem integrada da energia em suas múltiplas dimensões e o tratamento multidisciplinar dos critérios, subcritérios e as variáveis na construção da matriz de decisão, podem proporcionar maior alcance na busca de potenciais soluções para os problemas da expansão baseada na hidroeletricidade no estado do Paraná.

A matriz de decisão ora proposta pode ser incrementada com outros subcritérios e variáveis, entretanto, como ponto de partida, considera-se que a decisão dominante pautada somente no viés econômico tende a ceder espaço aos aspectos qualitativos que considere as necessidades de outros atores sociais.

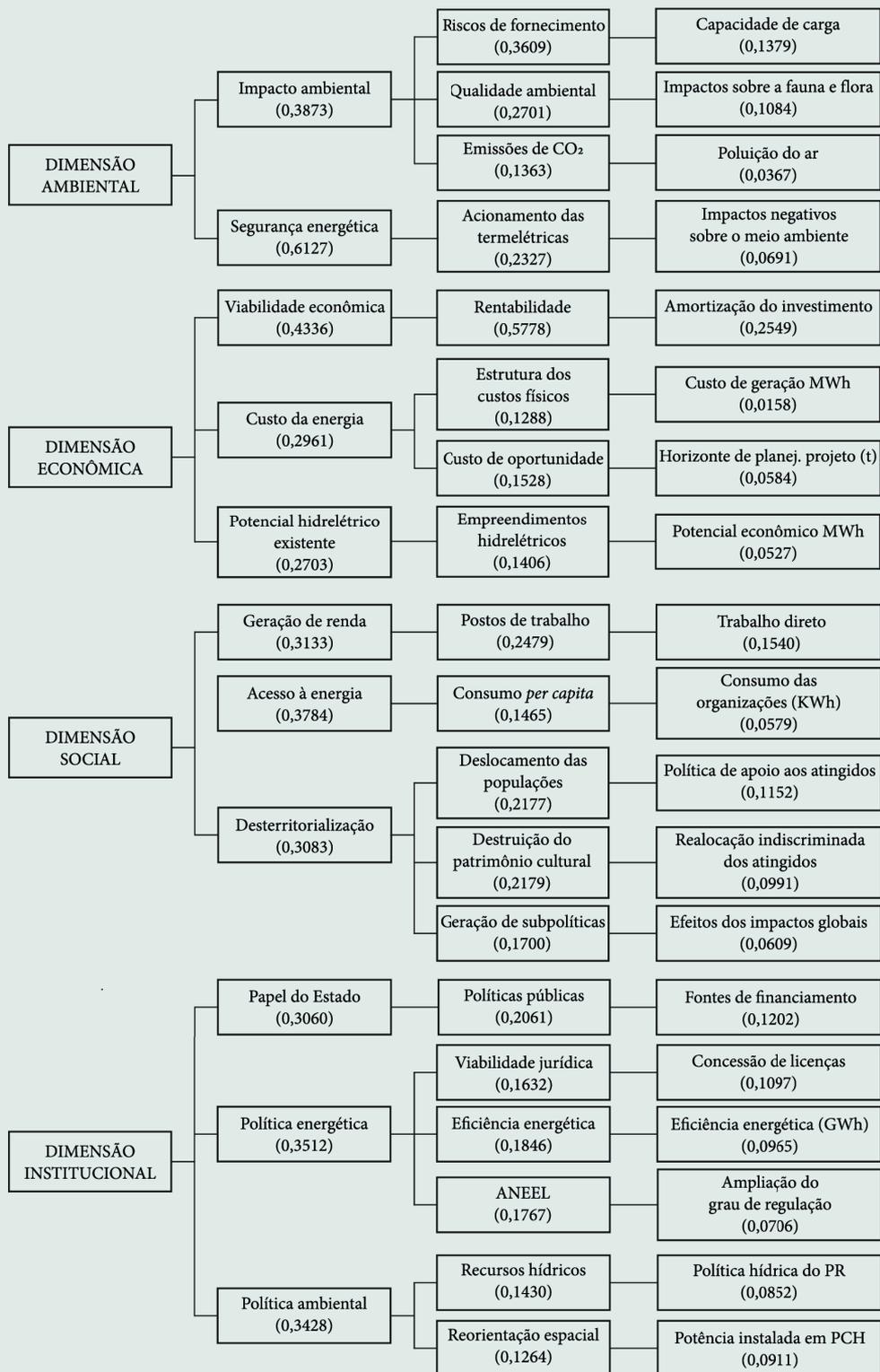


Figura 2 – Árvore de decisão (UHE e PCH)

Fonte: Autoria própria.

Considerações finais

O aumento do consumo *per capita* de eletricidade e o dinamismo da economia do estado do Paraná sugerem a necessidade de se ampliar a oferta de eletricidade, e é no potencial hídrico que essa demanda tende a ser atendida. A participação das outras fontes alternativas na matriz elétrica paranaense ainda se mostra insuficiente para responder as reais necessidades da economia local.

Nesse contexto, a pesquisa indica oportunidades no mercado de eletricidade e o enfrentamento de *trade-offs* entre as distintas dimensões da energia que envolve projetos dessa natureza. Verificou-se que a opinião dos especialistas confirma que os desafios impostos ao setor elétrico nacional se reproduzem no espaço local e que o planejamento energético deve focar e considerar os aspectos regionais de forma mais dinâmica.

A construção da matriz de decisão associada à leitura do cenário local pode orientar na formulação de políticas públicas, decisões empresariais de organizações públicas e privadas e/ou nortear outros estudos correlatos. Com esse instrumento, o tomador de decisão, ao identificar a importância e o peso relativo de cada variável, pode simular, com base em diferentes combinações de critérios, subcritérios e distintas variáveis, os resultados dos possíveis ganhos e potenciais riscos associados ao negócio da hidroenergia. Outro aspecto é que a aplicação do modelo poderá ser utilizada para representar a efetividade de políticas públicas atualmente existentes.

A despeito do *mainstream* ainda ser econômico, e o modelo reforça essa teoria, o produto final indica que outras dimensões da energia tendem a ganhar espaço na tomada de decisão pelo seu impacto no resultado para os empresários. Nesse sentido, a importância e o peso relativo das variáveis consideradas neste estudo são relevantes para a construção de propostas e análise de projetos de investimentos mais realistas.

Referências

AGUARÓN, J.; MORENO-JIMÉNEZ, J. M. The geometric consistency index: approximated thresholds. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 137-145, 2003.

ANDRADE, E. S. M. **Geração hidrelétrica no Nordeste: risco empresarial e ambiental para o setor elétrico brasileiro**. 2012. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

AUGUSTO, L. G. S. *et al.* O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/csc/v17n6/v17n6a15.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2016.

AZNAR, J.; ESTRUCH, V. Valoración de activos ambientales mediante métodos multicriterio: aplicación a la valoración del Parque Natural de Alto Tajo. **Economía Agraria y Recursos Naturales**, Madrid, v. 7, n. 13, p. 107-126, 2007.

BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidreletricidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 5, p. 139-153, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2013: ano base 2012**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional: ano base 2014**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2015a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão da Energia, 2024**. Brasília: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2015b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2007.

BRAVO ESTÉVEZ, M. L.; ARRIETA GALLASTEGUI, J. El Método Delphi. Su implementación en una estrategia didáctica para la enseñanza de las demostraciones geométricas. **Revista Iberoamericana de Educación**, Madrid, v. 36, n. 7, p. 1-10, 2005.

BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. **Fundamentos de política e gestão ambiental: os caminhos do desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: Garamond, 2012.

CASTRO, N. J.; LEITE, A. L. S.; DANTAS, G. A. **Análise comparativa entre Belo Monte e empreendimentos alternativos: impactos ambientais e competitividade econômica.** Rio de Janeiro: Grupo de Estudos do Setor Elétrico, UFRJ, 2011.

CERVEIRA FILHO, J. L. F. Pós-modernidade e risco na Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema: a construção social da subpolítica ambiental no município de Piraju (SP). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 26, n. 1, p. 127-141, 2012.

COEHN, C. A. M. J. **Padrões de consumo: desenvolvimento, meio ambiente e energia no Brasil.** 2002. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CONCEIÇÃO, A. L.; SEIXAS, S. R. C. Hidrelétricas, qualidade de vida e desenvolvimento. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 19, n. 207, p. 207-223, 2013.

CRESPO, T. **Respuestas a 16 preguntas sobre el empleo del método Delphi en la investigación pedagógica.** Lima: Editorial San Marcos, 2007.

DELBECQ, A. L.; VAN DE VEM, A. H.; GUSTAFSON, D. H. **Group techniques for program planning: a guide to nominal and Delphi processes.** Glenview : Scott, Foresman, 1975.

FINK, A. *et al.* **Consensus methods: characteristics and guidelines for use.** Santa Monica: RAND, 1991.

FLANDERS, D. *et al.* **A preliminary assessment of renewable energy capacity in Prince George, B C.** Ottawa: Natural Resources Canada, 2009.

FREITAS, G. S. **As modificações na matriz energética brasileira e as implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental.** 2011. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FRIDLEIFSSON, I. B. Capacity building in renewable energy technologies in developing countries. *In: WORLD ENERGY CONGRESS*, 21., 2010, Montreal. **Montreal:** World Energy Council,

2010. Disponível em: <http://89.206.150.89/documents/congress-papers/378.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2014.

GARCÍA, J. L. *et al.* Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de la tecnología agrícola. **Agronomía Costarricense**, San José, v. 30, n. 1, p. 107-114, 2006.

GASHO, Y; STEPANOVA, M. Energy efficiency: legislation, state policy, economic and business practice. *In*: BOBYLEV, S.; PERELET, R. (ed.). **Sustainable Development in Russia**. Berlin: Deutsch-Russischer Austausch, 2013. p. 42-53.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **O decrescimento**: entropia, ecologia, economia. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

GOLDEMBERG, J. **Energia e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Blucher, 2010. v.4

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. Política energética no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005.

HAGE, J. A. A. A política energética brasileira na era da globalização: energia e conflitos de um estado em desenvolvimento. **Revista de Sociologia Política**, Curitiba, v. 20, n. 41, p. 75-91, 2012.

HASSON, F.; KEENEY, S.; MCKENNA, H. Research guidelines for the Delphi survey technique. **Journal of Advanced Nursing**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 1008-1015, 2000.

HSU, C-C.; SANDFORD, B. A. The Delphi Technique: making sense of consensus. **Practical Assessment Research & Evaluation**, [s. l.], v. 12, n. 10, p. 1-8, 2007.

IPARDES. Concessões de hidrelétricas leiloadas. **Análise Conjuntural**, Curitiba, v. 37, n. 11-12, p. 15, nov./dez. 2015.

GORDON, T. J. The delphi method. **Futures research methodology**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 1-30, 1994. Disponível em: [http://www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/delphi%20\(1\).pdf](http://www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/delphi%20(1).pdf). Acesso em: 20 jan. 2016.

KALDELLIS, J. K.; KAPSALI, M.; KATSANOUE, E. Renewable energy applications in Greece: What is the public attitude? **Energy Policy**, [s. l.], v. 42, p. 37-48, 2012.

KALINOWSKI, L. M. **A região do Ribeira do Iguape (Paraná/São Paulo) e a hidroeletricidade**: elementos para uma revisão crítica. 2011. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

KAMOGAWA, L. F. O. **Crescimento econômico, uso dos recursos naturais e degradação ambiental**: uma aplicação do modelo EKC no Brasil. 2008. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

LANDETA, R. J. **El método Delphi**: una técnica de previsión para la incertidumbre. Barcelona: Ariel, 2002.

LEÓN, O. G.; MONTERO, I. **Métodos de investigación en Psicología y Educación**. Madrid: McGraw-Hill, 2004.

LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. **The Delphi Method**: techniques and Applications. Indiana: Addison-Wesley Publishing Company Inc, 2002. Disponível em: <http://www.is.njit.edu/pubs/delphibook/>. Acesso em: 10 jan. 2016.

MACFARLANE, A. M. Energy: the issue of the 21st century. **Elements**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 165-170, 2007.

MALLA, F. G.; ZABALA, I. La previsión del futuro en la empresa (III): el método Delphi. **Estudios Empresariales**, Granada, n. 39, p. 13-24, 1978.

MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, E. Aplicación del proceso jerárquico de análisis de selección de la localización de una PYME. **Anuario Jurídico y Económico Escurialense**, San Lorenzo de El Escorial, v. 40, p. 523-542, 2007.

MORETTO, E. M. *et. al.* Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 141-164, 2012.

MURPHY, C. K. Limits on the Analytic Hierarchy Process from its consistency index. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 65, n. 1, p. 138-139, 1993.

OLABUÉNAGA, J. I. R.; ISPIZUA, M. A. La técnica Delphi. *In*: RUIZ OLABUÉNAGA, J. L.; ISPIZUA URIBARRI, M. A. **La descodificación de la vida cotidiana**: métodos de investigación cualitativa. Bilbao: Universidad de Deusto, 1989. p. 171-179.

OLIVEIRA, A. **Políticas ambientais e desenvolvimento regional: a perspectiva do pensamento institucionalista evolucionário**. 2012. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

BRASIL. Serviços e Informações do Brasil. **Hidroeletricidade**. 2011. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/11/hidroeletricidade>. Acesso em: 20 ago. 2015.

PIRES, A.; FERNANDEZ, E. F.; BUENO, J. C. C. **Política energética para o Brasil: propostas para o crescimento sustentável**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2006.

RAIZER, L. **Sociedade e inovação: energias alternativas no Brasil e Canadá**. 2011. Tese. (Doutorado em Sociologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. Barueri: Manole, 2012.

ROCHA, H.; VEJO, C. **Métodos cuantitativos aplicados a la administración: análisis multicriterio en la toma de Decisiones**. 2005. (Apostila). Disponível em: www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf. Acesso em: 25 jan. 2014.

SAATY, T. L. **Multicriteria decisión making: the Analytic hierarchy process**. New York: McGraw Hill, 1980.

SAATY, T. L. An exposition of the AHP in reply to the paper remarks on the Analytic Hierarchy Process. **Management Science**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 259-268, 1990.

SAATY, T. L. **Toma de decisiones para líderes**. Pittsburg: RWS Publications, 1997.

SACHS, I.; DOWBOR, L.; LOPES, C. (org.). **Riscos e oportunidades: em tempos de mudanças**. São Paulo: Instituto Paulo Freire: Fortaleza: BNB, 2010.

SANTOS, G. F. dos. **Política energética e desigualdades regionais na economia brasileira**. 2010. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SANTOYO, A. H. **Bases teórico metodológicas para la valoración económica de bienes y servicios ambientales a partir de técnicas de decision multicritério.** Tesis (Doctor en Ciencias) – Universidad de Alicante, España, 2012.

SAUER, I. L. Política energética. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 78, p. 239-264, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142013000200015>. Acesso em: 19 mar. 2015.

SEVÁ FILHO, A. O. Estranhas catedrais: notas sobre o capital hidrelétrico, a natureza e a sociedade. **Revista Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 60, n. 3, p. 44-50, 2008.

SIEBEN, A. **Estado e política energética:** a desterritorialização da comunidade rural de Palmatuba em Babaçulândia (TO) pela Usina Hidrelétrica Estreito. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

SILVA, C. L. S. da. **Desenvolvimento sustentável:** um modelo analítico, integrado e adaptativo. Rio de Janeiro: Vozes, 2008.

SILVA, N. F. **Fontes de energias renováveis complementares na expansão do setor elétrico brasileiro:** o caso da energia eólica. 2006. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SIMIONI, C. A. **O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira:** obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis. 2006. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.

THORVALD, M. **The norwegian model of sustainable development:** a policy-oriented capital framework for measurement and policies. Oslo, 2007. Disponível em: http://www.esdn.eu/pdf/resources/the%20norwegian%20model%20of%20sustainable%20development_jan07.pdf. Acesso em: 3 mar. 2014.

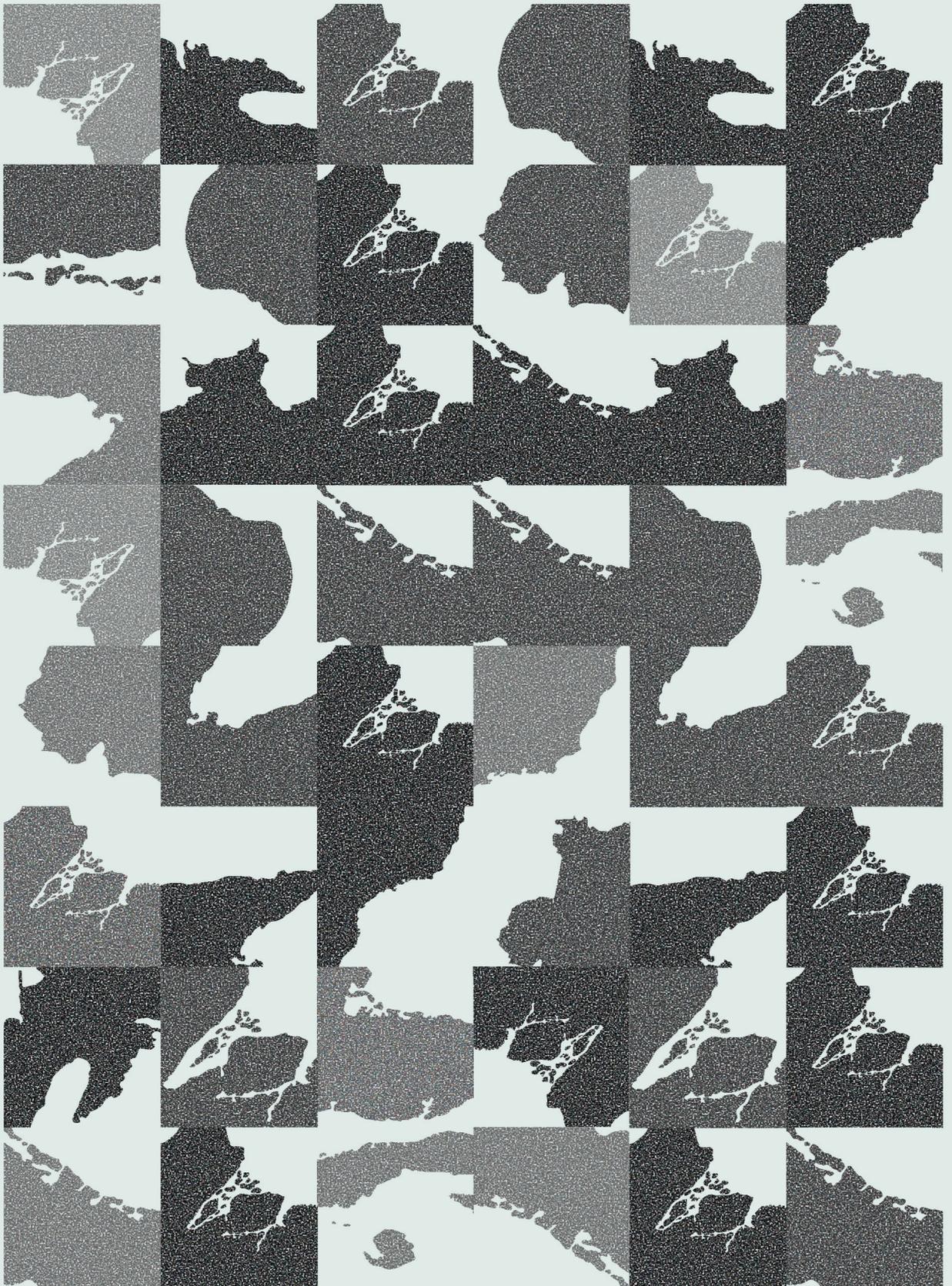
VENTURA FILHO, A. Por que a hidroeletricidade no mundo e no Brasil?. **Estudos e Pesquisas**, [s. l.], n. 517, p. 18-19, 2013.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

YOUSSUF, M. I. Using Experts' Opinions Through Delphi Technique. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, [s. l.], v. 12, n. 4, 2007. Disponível em: <http://pareonline.net/getvn.asp?v=12&n=4>. Acesso em: 4 jan. 2016.

ZELENY, M. Fuzziness, knowledge, and optimization: new optimality concepts. In: DELGADO, M.; *et.al.* (ed.). **Fuzzy Optimization: Recent Advances**. Heidelberg: Physica-Verlag, 1994. p. 3-20.



Proposta de um conjunto de indicadores de sustentabilidade e uma organização matricial como metodologia para tomada de decisão no setor hidrelétrico

Leandro Angelo Pereira

Manuela Dreyer da Silva

Christian Luiz da Silva

Alain Hernández Santoyo

Introdução

Atualmente, há um cenário de crescente demanda de energia. Segundo o último relatório do World Energy Council (2017), para a região da América Latina e Caribe, esta demanda crescente por eletricidade está projetada entre 2,3 e 2,7 vezes até 2060. Isso se deve, principalmente, ao desenvolvimento de tecnologias dependentes de energia e à eletrificação crescente da sociedade.

Ao diminuirmos a escala, nos interessa discutir a situação do Brasil e de Cuba¹. Ambos os países estão inclusos neste cenário. No Brasil, o crescimento médio de demanda energética foi, nos últimos dez anos, de 4% ao ano (BRASIL, 2017b), com uma taxa projetada de 1,9% anual até 2026 (BRASIL, 2017a). No caso de Cuba, que apesar de ter passado por uma crise no começo da década de 1990, sem recursos financeiros para modernizar e ampliar as suas termoelétricas e suas linhas de transmissão (SUÁREZ-RODRÍGUEZ; BEATON-SOLER; FAXAS-ESCALONA, 2011), houve, nos últimos 15 anos, um crescimento no consumo de energia elétrica de, em média, 7% ao ano (OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN, 2017).

1 Projeto Energias Renováveis: construção de uma matriz de decisão multicritério para opção da matriz tecnológica. Aprovado pelo Programa CAPES/MES-CUBA, Edital n.º 046/2013, Proponente: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Brasil, em parceria com a Universidad Pinar del Rio – Cuba.

A discussão sobre demanda energética está relacionada a vários aspectos, como a capacidade de realizar trabalho, o desenvolvi-

mento tecnológico e, até mesmo, o desenvolvimento das nações. Assim, uma possível justificativa para este crescimento acelerado pode ser dada porque a energia está presente em praticamente todas as atividades humanas. Brasil (2017b) e Menkes (2004) demonstram, por exemplo, a dependência da energia de diversas formas, como na força motor, no aquecimento, na iluminação, na mobilidade e até mesmo no aperfeiçoamento socioeconômico e tecnológico das civilizações.

Dessa maneira, observa-se uma associação entre o consumo de energia e o grau de desenvolvimento de um país. Essa ilação foi sendo discutida ao longo dos anos e, no início, os problemas relacionados à demanda de energia eram tratados quase que exclusivamente como uma questão de oferta, relacionada basicamente à produção e à transmissão. Questões mais complexas associadas ao tema, como as temáticas ambientais, eram anestesiadas (TEIXEIRA; SANTOS, 2001).

Com o amadurecimento das discussões, passou-se a associar intimamente o tema com os recursos naturais e com o meio ambiente. As preocupações surgidas desta relação, mesmo que anunciadas, foram sendo incorporadas timidamente às discussões sobre energia. Cenários como os observados com as crises do petróleo (PEREIRA, 2008) e mesmo a observação de relações de gestão hidrelétrica com alterações de volume ou frequência de chuvas em uma região (KOTLESKI, 2015), precisaram ser descritos para se aceitar a complexidade do tema. Dessa maneira, aceitou-se que analisar o crescimento de um país apenas pelo seu Produto Interno Bruto (PIB) e/ou consumo de energia não é necessariamente interessante (TEIXEIRA; SANTOS, 2001), o que implica em uma análise mais crítica, condicionada à influência de outras variáveis na análise de produção e demanda de energia.

Diante de um cenário complexo que envolve a energia e suas diferentes relações, ressalta-se a importância de se estudar indicadores, em suas diversas dimensões (econômicas, ambientais, sociais e institucionais), que amparem uma avaliação objetiva sobre a sustentabilidade das trajetórias advindas de escolhas energéticas.

Indicadores de sustentabilidade relacionados à área energética

A cadeia energética completa engloba não somente a produção, como também a transferência e os usos finais (consumo). Assim, podem ser estabelecidos indicadores energéticos com objetivos específicos para cada um destes componentes da cadeia (REIS, 2013).

O presente capítulo objetivou, dessa forma, criar um conjunto de indicadores de sustentabilidade relacionados à área energética, seguindo estes vários aspectos ou componentes. Com base nestes, utilizando métodos qualitativos e quantitativos, o propósito foi discutir uma matriz de tomada de decisão voltada ao planejamento, tendo em vista sua utilização como ferramenta de *benchmarking* na busca da sustentabilidade.

Para isso, precisamos ter claro alguns conceitos relacionados aos indicadores, não apenas os energéticos ou relacionados à sustentabilidade. A definição de indicador dada por Mitchell (1996, p. 2, tradução nossa) diz que um conjunto de indicadores permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade ao sintetizar um conjunto complexo de informações, mesmo que “o preço a pagar pela extração das informações dos dados disponíveis seja uma provável distorção desses dados”. Os indicadores resumem informações complexas em uma quantidade gerenciável de dados, que auxiliam as decisões e ações a serem tomadas pelos observadores (BOSSSEL, 1999).

Eles devem ser aplicados não apenas no diagnóstico de uma realidade em dado momento, mas também para orientar se um determinado planejamento está sendo bem executado. Em outras palavras, um bom indicador deve mostrar em que fase do planejamento o processo se encontra e se os resultados obtidos até aquele momento estão coerentes com os resultados esperados no início desse planejamento ou projeto (GIBBS, 2007).

Nesse sentido, um programa de monitoramento ou um conjunto de indicadores deve ser projetado de acordo com objetivos específicos de um planejamento e deve fornecer a informação necessária para a realização desses objetivos (HEYWOOD; WATSON, 1995; RINGOLD *et al.*, 1996). Os objetivos devem ser claros e o indicador deve ser o mais apropriado para a tomada de decisão de sua gerência. Além disso, é preciso definir quais medidas serão tomadas, como e onde, e com qual a frequência; e é importante considerar as escalas, espacial e temporal, ao se projetar um monitoramento, assegurando a viabilidade desses indicadores objetivos (HEYWOOD; WATSON, 1995).

Além dessas características, Bossel (1999) complementa dizendo que um indicador precisa de uma definição inicial sustentada por questões chaves (orientação); deve agregar valor ao sistema de gestão e precisa mensurar algo relevante (eficiência e eficácia); ser estável em relação ao que representa e níveis de confiança estatísti-

cos (seguro); precisa coexistir com outros sistemas (compatível); e deve estar de acordo com as características culturais da população (culturalmente sensível).

Já de acordo com Pereira (2012), existem etapas específicas na construção desses indicadores. Estas etapas são: seleção dos itens, avaliação de suas relações empíricas, combinação dos itens no indicador e a validação deste.

Seguindo esses critérios, portanto, um indicador teria a capacidade de apontar o que está acontecendo ou o que está para acontecer (RIBEIRO *et al.*, 2006). As funções representativas dos indicadores no que tange à mensuração funcionariam, então, como um mapa, um roteiro ou guia que auxiliaria a visualização, monitoramento e suporte para quem deseja acompanhar um processo de crescimento, decréscimo e ou estagnação (SILVA; CÂNDIDO; MARTINS, 2009). Por exemplo, um indicador considerado funcional para o monitoramento na área ambiental deve ter as seguintes características: quantificável (que possa ser medido com facilidade); relevante, do ponto de vista biológico e ecológico; sensível aos estresses de origem antropogênica; que se antecipe no estado de conservação ambiental; ter um custo efetivo (que proporcione as máximas informações num mínimo de tempo, funcionários e dinheiro); e relevante do ponto de vista do gerenciamento –que traga uma informação importante para o planejamento ou seus gestores– (GRANIZO *et al.*, 2010; THE H. JOHN HEINZ III CENTER FOR SCIENCE; ECONOMICS, AND THE ENVIRONMENT; CENTER FOR RESOURCE ECONOMICS, 2008).

Além da caracterização citada anteriormente, há de se considerar a escala temporal de aplicação dos indicadores. A velocidade de obtenção de resultados de desenvolvimento em grandes regiões, estados ou até mesmo em um país é bastante alta quando comparada a projetos locais, que, em geral, possuem um tempo já anteriormente delimitado de execução. Um macroindicador pode ter uma frequência de monitoramento maior, por exemplo, e, um microindicador, menor por já possuir resultados mensuráveis em curto intervalo de tempo.

Alguns exemplos de macroindicadores podem ser encontrados no trabalho da Commission on Sustainable Development (CSD), um órgão do Conselho Econômico e Social da Organização das Nações Unidas (ONU) que, em 2006, sugeria um grupo de 96 indicadores relacionados às dimensões sociais, ambientais, econômicas

e institucionais (UNITED NATIONS PUBLICATION, 2007). Dentre estes, podemos citar: proporção da população vivendo abaixo da linha da pobreza; consumo de substâncias destruidoras de ozônio (Houaiss só registra “ozônio”) e percentagem da população que pagou subornos (indicador relacionado à corrupção).

Por outro lado, ao pensarmos nos microindicadores, ou em desenvolvimento local, os indicadores utilizados para esse fim precisam ser construídos em escalas distintas e com focos distintos. Dentro desta ideia, podemos citar o Helio Internacional Guides for Reserve Reporter, feito por uma rede internacional de pesquisadores que atuam na temática de energia, os quais sugeriram vários indicadores para cada uma das quatro dimensões trabalhadas (ambiente, sociedade, economia e tecnologia). Como exemplo, podemos citar: nível dos poluentes locais mais significantes relacionados à energia; investimento em Energia Limpa; carga de investimento em energia no setor público; e participação de fontes renováveis na oferta primária de energia (ELIO INTERNATIONAL, 1997).

Assim, como exemplificado, os indicadores terão o papel de representar a diversidade de prioridades e preferências comuns nas discussões entre diferentes culturas e diferentes grupos, que comumente tendem a definir objetivos diante de seus propósitos e interesses. E esse processo de construção e operacionalização dos indicadores poderá ser facilitado com o registro de um marco primordial, partindo de um pressuposto de “início” anterior aos diferentes acontecimentos de uma intervenção (DIXON; OLSEN; KAHN, 1998; SCHLESINGER *et al.*, 1994; SKALSKI, 1990).

Dessa forma, os indicadores precisam estar contextualizados e, para isso, há necessidade de um conhecimento do sistema no qual serão inseridos (RABELO, 2007). A escolha dos indicadores mais adequados para a realidade que se pretende avaliar se mostra, portanto, um desafio. Esse desafio vai sendo solucionado com base nas percepções do pesquisador, as quais são únicas para cada objeto. Isso pode ser considerado uma limitação metodológica para seleção de indicadores, porém este estudo pretende demonstrar que diferentes visões, de diferentes pesquisadores, podem minimizar essa subjetividade, tornando o uso de indicadores de sustentabilidade uma ferramenta interessante para o diagnóstico e o monitoramento de uma dada realidade. Nesse sentido, pode-se dizer que os indicadores denominados de “indicadores de sustentabilidade” passam a ser um componente essencial de avaliação de impacto e gestão dos recursos naturais (NIEMEIJER; DEGROOT, 2008).

Na aplicação desses conceitos sobre indicadores na área da energia, Reis (2013) orienta o estabelecimento adequado e prático com base em alguns tópicos principais:

1. conceituação básica associada à construção de conjuntos de indicadores energéticos, em nível global e em nível específico;
2. indicadores energéticos sugeridos para avaliações globais;
3. exemplos de indicadores energéticos associados a informações de matrizes energéticas relacionadas com a oferta e com o consumo de energia;
4. estudo de caso relacionado com três setores importantes do consumo: o industrial, o comercial e o residencial.

Tendo claros todos esses conceitos, percebe-se, então, uma preocupação em estabelecer indicadores adequados ao setor energético, uma vez que a energia é parte importante das grandes questões atuais da humanidade, entre as quais, o aquecimento global e a busca por um modelo de desenvolvimento sustentável. Seguindo este pensamento de que atualmente a energia está presente em todas as facetas do desenvolvimento humano e que tomar decisões nesta área é um desafio complexo, o presente trabalho buscou desenvolver uma metodologia para construção de uma matriz que possa organizar dados e informações para tomadores de decisão e/ou gestores que atuam no setor hidrelétrico.

Material e métodos

Para atender o objetivo de construir uma matriz voltada aos tomadores de decisão ou para os gestores do setor energético, conforme descrito por Pereira (2012), quatro premissas foram levadas em consideração:

1. definição de um conceito abstrato ou temática social de interesse: neste caso, o desenvolvimento sustentável relacionado ao setor energético hidrelétrico, apresentado nos itens anteriores;
2. caracterização das dimensões ou diferentes formas de interpretação operacional do conceito: para este, foram utilizadas as dimensões ambiental, social, econômica e institucional, sugeridas por Souza (2016);

3. seleção de dados públicos disponíveis: neste caso foram utilizados os relatórios de diferentes companhias do setor energético, *standard methods* e artigos acadêmicos sobre o tema (estes relacionados a distintas instituições que trabalham na área de geração de energia);
4. seleção e organização dos indicadores: esta etapa focou os conceitos e dimensões apresentados.

Mais precisamente, para organização dos indicadores em uma matriz, a metodologia utilizada foi baseada na proposta feita por Granizo *et al.* (2010), o qual apresenta o mecanismo Conservation Action Planning, criado pela The Nature Conservancy e parceiros, utilizado há mais de 14 anos na área de gestão de recursos. Esse método é uma das poucas ferramentas exclusivamente concebidas para estabelecer indicadores e estratégias de ações para diferentes dimensões, incluindo aspectos ambientais, sociais, econômicos e institucionais.

Indicadores de sustentabilidade para o setor hidrelétrico

Os indicadores selecionados foram organizados conforme sua Dimensão, Critério e Subcritério, seguindo sugestões de Souza (2016) e definições da metodologia de Granizo *et al.* (2010) (Tabela 1).

Dimensão	Critério	Subcritério	Indicador	
Ambiental	Risco de fornecimento	Capacidade de carga dos recursos hídricos do PR	Capacidade instalada (total) Generation Scaling Factor	
		Aumento de temperatura	Monitoramento de vendavais (risco climático)	
		Alteração nível pluviométrico	Monitoramento da pluviosidade (volume de chuvas – risco climático)	
		Densidade energética	Watts por km ²	
	Qualidade ambiental	Poluição da água		Monitoramento de qualidade da água Consumo administrativo de água
			Erosão do solo	Situação dos pontos de monitoramento de erosão
		Impactos sobre a flora e fauna		Projetos de Gestão de Espécies Exóticas (fauna ou flora) Investimento em Projetos Ambientais (% em relação à Receita Operacional Líquida)
			Impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos	Investimento no atendimento a ocorrências de eventos climáticos

Dimensão	Critério	Subcritério	Indicador
		Alteração da paisagem	Alteração da paisagem Plantio de mudas por ano
		Gestão de resíduos	Porcentagem de reuso ou reciclagem dos resíduos gerados
	Emissões de CO ₂	Aumento do efeito estufa	Porcentagem de redução de CO ₂ relacionada às fontes próprias de emissões de combustão estacionária e móvel, comparada ao ano anterior NOx ou outros gases de toneladas
		Poluição do ar	Emissões de material particulado
Econômica	Rentabilidade	Amortização investimento	Prazo de Amortização de Juros e Principal Lucro antes dos juros, impostos, depreciação e amortização (LAJIDA) Depreciação e outras amortizações – consolidado
		Liquidez ou solvência	Liquidez corrente (índice)
		Resultado do exercício	Lucro líquido do exercício consolidado
	Estrutura dos custos físicos	Custo de geração	Total de custos e despesas – operacionais Geração própria de energia Abrangência territorial (no Estado) para prestação dos serviços de energia elétrica Custo médio para grandes Usinas Hidrelétricas (UHEs)
		Custo de transmissão	Participação em porcentagem em relação aos outros custos (equipamento, financeiro, ambiental etc.)
	Custo de oportunidade	Aporte em combustíveis fósseis	Uso de termoeletricas emergenciais
		Horizonte do planejamento do projeto	Tempo entre a Licença Prévia e a Licença de Instalação
	Empreendimentos hidrelétricos	Potencial econômico	Custo médio para grandes UHEs (indicador já demonstrado)
Social	Postos de trabalho	Diretos	Número de empregados Taxa de frequência de acidentes típicos com afastamento
		Indiretos	Distribuição do Valor Adicionado (DVA): (%)
	Consumo <i>per capita</i>	Consumo das famílias	Unidades consumidoras residenciais Unidades consumidoras rurais
		Consumo das empresas e instituições (kWh)	Unidades consumidoras comerciais Unidades consumidoras industriais
	Deslocamento das populações	Apoio às populações afetadas pelas hidrelétricas	Gasto com arrendamento de terras Indenização às populações afetadas pelas hidrelétricas
	Destruição do patrimônio cultural	Relocação indiscriminada de grupos ou comunidades locais	Gastos com realocação de comunidades

»

Dimensão	Critério	Subcritério	Indicador
Institucional	Geração de subpolíticas	Investimento em educação ou capacitação técnica	Investimentos em educação aos seus funcionários Auxílio financeiro para cursos de formação
		Políticas Públicas	Fontes de financiamento hidroenergética
	Número de projetos de P&D autorizados e em execução		Investimento anual da receita operacional líquida em projetos de eficiência energética, produtos sustentáveis ou relacionados a mudanças tecnológicas
	Viabilidade Jurídica	Concessão de licenças	Trâmites para obtenção das licenças Autos de infração pela não conformidade a leis e regulamentações trabalhistas e/ou ambientais
		Disputas políticas regionais	Instrumentos de <i>compliance</i> Transparência: informações periódicas publicadas pela empresa
	Geração de recursos hídricos	Assuntos regulatórios relacionados à ANEEL	Assuntos regulatórios: (relacionados à concessão e a modicidade tarifária) – Medida Provisória n.º 579/2012
		Expansão ou reativação das UHEs	Participação de UHE na geração de energia elétrica comparada com outras fontes (termais, eólica, solar etc.) Transmissão – nacional (Brasil)
	Reorientação de recursos hídricos	Expansão ou reativação das PCHs	Participação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) na Geração de Energia Elétrica
Eficiência Energética	Economia gerada	Porcentagem de redução do consumo de energia comparada com ano anterior	
		Porcentagem de redução do consumo de água comparada com ano anterior	

Tabela 1 – Proposta de organização de um conjunto de indicadores de sustentabilidade para o setor hidrelétrico

Fonte: Autoria própria.

Proposta de uma matriz para tomada de decisão

Como uma segunda parte metodológica, foi possível construir uma matriz para tomada de decisão para gestores que atuam no setor hidrelétrico. A matriz foi organizada em três grandes partes, as quais se conectam e se retroalimentam por meio de relações feitas com o auxílio do Excel.

A primeira parte foi relacionada aos quatro aspectos acima apresentados: Dimensão, Critério, Subcritério e Indicador. Nesta parte, é possível avaliar o indicador e sua base conceitual ou dimensão à qual pertence, facilitando sua interpretação (Tabela 2).

Dimensão	Critério	Subcritério	Indicador
Ambiental	Risco de Fornecimento	Densidade Energética	Watts por km ²

Tabela 2 – Proposta de organização dos quatro quesitos fundamentais para construção de uma matriz para tomada de decisão

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 2 foi selecionado um indicador da área ambiental como exemplo, exemplo este que segue na Tabela 3 na categorização em quatro níveis de desempenho: Ruim, Regular, Bom e Muito Bom. Para esta parte da matriz, a ideia foi estipular critérios de performance para cada um dos indicadores (Tabela 3).

Ruim	Regular	Bom	Muito Bom
Abaixo de 1 MW/km ²	Entre 1 e 2 MW/km ²	Entre 2 e 3 MW/km ²	Acima de 3 MW/km ²

Tabela 3 – Segundo passo para construção de uma matriz para tomada de decisão: mensuração do desempenho

Fonte: Autoria própria.

Por fim, a terceira parte foi estruturada para ser possível avaliar não apenas a mudança do indicador ao longo do tempo (inserindo e mensurando o alcance de metas), mas para comparar instituições também. Ainda nesta parte da matriz, foi possível substituir o nível do desempenho dos indicadores por um número, para fins de comparação: o Ruim recebeu mensuração zero (0); o Regular, um (1); o Bom, dois (2) e o Muito Bom, três (3).

Assim, foi possível traduzir algumas variáveis qualitativas para quantitativas categóricas, o que permitiu vincular diferentes dimensões em uma mesma análise (Tabela 4).

Classificação Atual	Classificação Desejada	Classificação Atual Data	Classificação Desejada Data	Índice Categórico
Bom	Muito Bom	2016	2019	3

Tabela 4 – Terceiro passo: organização matricial com foco na mensuração de metas

Fonte: Autoria própria.

Ao juntarmos as três partes desta matriz, pudemos, então, analisar as diferentes dimensões e o desempenho dos diferentes indicadores de forma simultânea, conforme o exemplo na Tabela 5.

Dimensão	Ambiental
Critério	Risco de Fornecimento
Subcritério	Capacidade de carga dos recursos hídricos do PR
Indicador	Capacidade Instalada (Total)
Ruim	Menor que 122 MW
Regular	Entre 122 e 2.500 MW
Bom	Entre 2.500 e 5.000 MW
Muito bom	Acima de 5000 MW
Classificação Atual	Bom
Classificação Desejada	Muito Bom
Classificação Atual Data	2016
Classificação Desejada Data	2019
Índice Categórico	3

Tabela 5 – Uma linha matricial completa, utilizando como exemplo o indicador ambiental

Fonte: Autoria própria.

Considerações finais

Não há dúvidas de que a informação tem lugar de destaque nos diversos espaços de tomada de decisão e nas estratégias para definição dos recursos destinados ao desenvolvimento humano e tecnológico. A matriz desenvolvida identifica a possibilidade de trabalhar com distintos indicadores, de diferentes dimensões da sustentabilidade, para embasar tomadas de decisão.

Vale ressaltar, no entanto, que, historicamente, os dados gerados no setor de energia eram quase exclusivamente relativos à dimensão econômica. Esse fato constitui um obstáculo para o estudo comparativo de matrizes energéticas e/ou entre instituições e países, mas atesta a importância de estudos como o aqui realizado.

Logo, ressaltamos a importância de métodos de avaliação que, como este, busquem incorporar diferentes indicadores, de distintas dimensões, os quais possam ser analisados simultaneamente. Além disso, destaca-se a importância da melhoria constante destes indicadores ao longo da sua aplicação. Mais precisamente, como sugestão, indicamos o aperfeiçoamento dos níveis de desempenho dos indicadores, assim como o estabelecimento de metas relacionadas aos indicadores propostos.

Assim, de acordo com Malheiros, Coutinho, Philippi Júnior (2013) e Reis (2013), será possível expandir as metodologias e suas aplicações

para tomadas de decisão, o que significa aplicar novas lentes para a compreensão sistêmica das mudanças.

Referências

BOSSSEL, H. **Indicators for sustainable development: theory, method, applications**. Manitoba: International Institute for Sustainable Development, 1999.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano decenal de expansão de energia 2026**. Brasília: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2017a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**: ano base 2016. Brasília: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2017b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2019.

DIXON, P. M.; OLSEN, A. R.; KAHN, B. M. Measuring trends in biological resources. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 8, p. 225–227, 1998.

GIBBS, M. T. Sustainability performance indicators for suspended bivalve aquaculture activities. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 94–107, jan. 2007.

GRANIZO, T. *et al.* **Conservation action planning: developing strategies, taking action, and measuring success at any scale**. Washington DC: The Nature Conservancy, 2010.

HELIO INTERNATIONAL. Helio International Guides for Reserve Reporter. **Helio International**, [1997-2015?]. Disponível em: <http://helio-international.org/wp-content/uploads/2013/12/ENERGY-SUSTAINABILITY-IN-LATIN-AMERICA.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2019.

HEYWOOD, V. H.; WATSON, R. T. **Global biodiversity assessment**. [s.l.] Cambridge University Press, 1995.

KOTLESKI, L. O. **Esgotamento do potencial hidrelétrico no Brasil: tendências para a reestruturação da matriz energética**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Economia) – Faculdade de Economia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MALHEIROS, T. F.; COUTINHO, S. M. V.; PHILIPPI JÚNIOR, A. Desafios do uso de indicadores na avaliação da sustentabilidade. *In*: MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JÚNIOR, A. **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2013. p. 743.

MENKES, M. **Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade**. 2004. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília. 2004.

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. **Sustainable Development**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 1–11, 1 mar. 1996.

NIEMEIJER, D.; DEGROOT, R. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 14–25, jan. 2008.

OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN. Capítulo 10: Minería Y Energía. *In*: ONEI. **Anuario Estadístico de Cuba 2016**. Habana: [s.n.], 2017. Disponível em: http://www.onei.gob.cu/sites/default/files/10_mineria_y_energia_0.pdf. Acesso em: 22 jan. 2019.

PEREIRA, E. M. O Ouro Negro: Petróleo e suas crises políticas, econômicas, sociais e ambientais na 2a metade do século XX. **Outros Tempos**. São Luís, v. 5, n. 6, p. 54-72, 15 dez. 2008.

PEREIRA, L. A. **Indicadores de sustentabilidade para a maricultura de pequena escala**: conceitos, metodologia e usos. 2012. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

RABELO, L. S. **Indicadores de sustentabilidade**: uma seqüência metodológica para a mensuração do progresso ao desenvolvimento sustentável. 2007. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

REIS, L. B. dos. Indicadores de energia, desenvolvimento e sustentabilidade. *In*: PHILIPPI JÚNIOR, A. **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2013. p. 615-646.

RIBEIRO, H. *et al.* Recycling programs in partnership with scavenger associations as a sustainability factor in Metropolitan São Paulo, Brazil. *In*: CONFERENCE THE SUSTAINABLE City IV: Urban Regeneration and Sustainability, 93., 2006, Southampton, UK. **Anais [...]**:

Southampton, UK: WIT Press, 28 jun. 2006. p. 409-418. Disponível em: <http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=SC06-039-1>. Acesso em: 28 jan. 2019.

RINGOLD, P. L. *et al.* Adaptive monitoring design for ecosystem management. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 745-747, 1 ago. 1996.

SCHLESINGER, R. C. *et al.* Assessing changes in biological diversity over time. **Natural Areas Journal**, [s. l.], v. 14, p. 235-240, 1994.

SILVA, M. G.; CÂNDIDO, G. A.; MARTINS, M. de F. Método de construção do índice de desenvolvimento local sustentável: uma proposta metodológica e aplicada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 55-72, 2009.

SKALSKI, J. R. A design for long-term status and trends monitoring. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 139-144, 1 mar. 1990.

SOUZA, A. de. **Proposta de uma matriz de decisão em energia hidroelétrica com o uso do método multicritério, para formulação de políticas públicas no Estado do Paraná**. 2016. Tese (Doutorado em Tecnologia e Sociedade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SUÁREZ-RODRÍGUEZ, J.; BEATON-SOLER, P. A.; FAXAS-ESCALONA, R. Estado y perspectivas de la energía fósil en Cuba. **Tecnología Química**, Santiago de Cuba, v. 31, n. 2, p. 88-94, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543773012.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2019.

TEIXEIRA P. H. G.; SANTOS, S. M. dos. **Energia e desenvolvimento: uma análise a partir do conceito de racionalidade para o Rio Grande do Norte**. Natal, 2001. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2001_tr103_0562.pdf. Acesso em: 22 jan. 2019.

THE H. JOHN HEINZ III CENTER FOR SCIENCE; ECONOMICS, AND THE ENVIRONMENT; CENTER FOR RESOURCE ECONOMICS. **The state of the nation's ecosystems 2008: measuring the lands, waters, and living resources of the United States**. Washington: DC: Island Press: [The Center for Resource Economics], 2008. Disponível em: https://aim.landscapetoolbox.org/wp-content/uploads/2015/09/Heinz_The-State-of-the-Nations-Ecosystems-2008.pdf. Acesso em: 28 jan. 2019.

UNITED NATIONS PUBLICATION. **Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies**. 3. ed. New York: ONU, 2007.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Council - Scenarios 2017**. London: World Energy Council, 2017. Disponível em: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/LAC-Scenarios_Full-Report_FINAL.pdf. Acesso em: 22 jan. 2019.

Sobre os autores

Prof. Dr. Christian Luiz da Silva

Pós-doutor em administração pela Universidade de São Paulo (USP), doutor e mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). É economista e professor titular na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) com atuação nos programas de Mestrado e Doutorado em Planejamento e Governança Pública (PGP), em Desenvolvimento Regional (PPGDR) e em Tecnologia e Sociedade (PPGTE). Atualmente é bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em Produtividade em Pesquisa ID e lidera os grupos de pesquisa em Políticas Públicas e Dinâmica de Desenvolvimento Territorial (PD2T).

Profa Dra. Mayra Casas Vilardell

Doutora em Economia e bacharel em Planejamento da Economia Nacional, professora titular da Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca” (UPR) e professora titular da Academia de Ciências de Cuba (ACC). Diretora do Centro de Estudos de Meio Ambiente e Recursos Naturais (CEMARNA/UPR) por mais de dez anos e atualmente coordena projetos do eixo de Natureza, Clima e Energia no Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

Prof. Dr. Alain Hernández Santoyo

Doutor em Ciências Econômicas pela Universidade de Alicante, mestre em Administração de Empresas Agropecuárias e graduado em Economia pela Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca” (UPR). Já atuou como professor visitante estrangeiro do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) e atualmente é pesquisador colaborador do Centro de Estudos de Meio Ambiente e Recursos Naturais (CEMARNA/UPR), também é professor titular da UPR e membro do Grupo de Tecnologia de Gestão Ambiental e Meio Ambiente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (TEMA/UTFPR) e do Grupo de Pesquisa em Políticas Públicas e Dinâmicas de Desenvolvimento Territorial (PD2T/UTFPR).

Profa. Dra. Dora Lilia Márquez Delgado

Doutora em Ciências Pedagógicas e mestra em Ciências do Ensino Superior pela Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca" (UPR). Atua como professora da UPR, como diretora do Centro de Estudos do Meio Ambiente e Recursos Naturais (CEMARNA/UPR) e como membro do Conselho Científico do Ramo Ambiental, da Comissão Acadêmica do Programa de Mestrado em Gestão Ambiental da UPR e do Grupo de Peritos do Programa Territorial de Recursos Naturais e Alterações Climáticas. É orientadora de tese de doutorado em Ciências Pedagógicas e de mestrado em Gestão Ambiental e coordenadora do Programa de Doutorado Acadêmico Conjunto “Desenvolvimento sustentável de florestas tropicais: gestão florestal e turística” entre a Universidade de Alicante, Espanha, e a UPR, Cuba.

Profa. Dra. Arielys Martínez Hernández

Doutora com formação sanduíche em Ciências Econômicas pela Universidad del Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca" (UPR), Cuba, e na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e licenciada em Economia Empresarial na UPR, onde atua como professora. É, também, secretária e membro do corpo docente da Comissão de Doutorado em Ciências Econômicas e membro do corpo docente dos Mestrados em Eficiência Energética, Administração de Empresas, Administração de empresas agrícolas.

Ing. Francisco Lorenzo González

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidad Tecnológica da Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), é colaborador do Centro de Estudos sobre Meio Ambiente e Recursos Naturais (CEMARNA) da Universidad de Pinar del Río (UPR), Cuba. Possui reconhecida experiência em cargos administrativos, tais como: vice-diretor provincial de Energia da Direção de Energia do Conselho da Administração Provincial do Poder Popular em Pinar del Río; pro-reitor Administrativo da UPR e diretor provincial do Instituto Nacional de Esportes, Educação Física e Recreação (INDER) em Pinar del Río.

Profa. Dra. Ana Paula Myszczuk

Pós-doutoranda em estágio na Universidad de Pinar del Río (UPR), Cuba, no Centro de Estudios en Medio Ambiente y Recursos Naturales, pós-doutoranda em estágio no Programa de Pós-Graduação em Bioética na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Doutora e mestra em Direito Econômico e Socioambiental pela PUCPR, onde também se graduou em licenciatura em História e bacharelado em Direito. Atualmente é professora associada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública. Tem experiência na área de Direito Privado, com ênfase em Direito à Cidade e Biodireito e Inovação. É advogada em Curitiba desde 2000.

Profa. Dra. Andréa de Souza

Doutora e mestra em Tecnologia pelo programa de Pós-graduação em Tecnologia e Sociedade (PPGTE) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduada em Ciências Econômicas pela Faculdade Católica de Administração e Economia (FAE). Atualmente é docente e pesquisadora do Departamento de Gestão e Economia (DAGEE). Atuou como bolsista de doutorado do Projeto n.º 189/13, Programa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)/MES-CUBA

Profa. Dra. Adriana Ripka

Doutora e mestra pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade (PPGTE) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e graduada em Economia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atua como docente e pesquisadora e já participou do projeto “Energias Renováveis: construção de uma matriz de decisão multicritério para opção da matriz tecnológica”, financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – MES/Cuba, Edital 046/2013, e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Prof. Dr. Leandro Angelo Pereira

Doutor em Ecologia e Conservação e mestre em Ciências Veterinárias, com ênfase em produção, meio ambiente e desenvolvimento, ambas formações pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e graduado em Biologia pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Atualmente é professor no Instituto Federal do Paraná (IFPR), onde ministra aulas no Eixo Tecnológico de Meio Ambiente e também é membro do programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade (PPGCTS). Atua, também, como chefe da Seção de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo do IFPR – campus Paranaguá e líder do Grupo de Pesquisa Tecnologia em Gestão Ambiental.

Profa. Dra. Manuela Dreyer da Silva

Pós-doutora em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), doutora em Tecnologia e Sociedade pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), mestra em Ecologia e Conservação pela UFPR, onde se graduou em licenciatura e bacharelado em Ciências Biológicas. É professora da UFPR, lotada no Departamento de Teoria e Fundamentos da Educação, no Setor de Educação. Atuou como bolsista no programa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)/MES-CUBA, por meio do projeto “Energias Renováveis: Construção de uma matriz de decisão multicritério para opção da matriz tecnológica”, estágio sanduíche no Centro de Estudos de Meio Ambiente e Recursos Naturais (CEMARNA). Tem experiência na área Socioambiental e de Educação.

Índice remissivo

- a**
- Acesso à eletricidade 93
 - Aerogeradores 14
 - Agência Internacional de Energia (IEA) 67, 69, 70, 73, 85, 96
 - Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) 69, 70, 71, 72, 73, 73, 78, 80, 80, 83, 84, 85, 86
 - Agronegócio 93
 - Análise 11, 37, 40, 48, 59, 69, 68, 79, 80, 83, 84, 93, 94, 96, 97, 97, 100, 102, 104, 114, 122
 - Análise de projetos de Investimento 106
 - Análise Hierárquica de Processo (AHP) 91, 96, 97, 98, 101
 - Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 70, 71, 85
 - Agency for Natural Resources and Energy (ANRE) 70, 72, 85
 - Aplicações 123
 - Aquecimento global 118
 - Árvore de decisão 92, 102
 - Autossuficiência energética 93
 - Avaliação de impacto 117
- b**
- Benefício econômico 57
 - Biodigestores 30
 - Bioelétricas 17, 47
 - Biogás 13, 21, 30, 31, 94
 - Biomasa/Biomassa 13, 22, 24, 26, 27, 32, 60
 - Brasil 08, 39, 38, 44, 45, 53, 54, 56, 57, 60, 61, 68, 70, 71, 72, 73, 85, 91, 92, 93, 113, 114
- c**
- Capacidade instalada 55, 57, 60, 91, 93
 - Capacidade instalada de geração elétrica 57
 - Capital privado 61
 - Centrais hidrelétricas 55, 91, 94
 - Clareza 83, 86
 - China 55, 68, 70, 72, 73, 85
 - Combustíveis fósseis/Combustíveis fósseis 11, 14, 21, 25, 32, 40, 45, 54, 57
 - Companhia Paranaense de Energia (COPEL) 93
 - Comparação 8, 40, 57, 68, 71, 72, 73, 73, 78, 79, 84, 85, 96, 97, 122
 - Competência dos especialistas 95, 100
 - Competitividade dos produtos brasileiros 58
 - Componentes 73, 83, 84, 86, 114, 115
 - Composição 71, 73, 74, 86
 - Compreensão sistêmica 124
 - Conflitos entre proteção ao meio ambiente e desenvolvimento

econômico 48
Conjuntos de indicadores 70, 71, 78, 79, 118
Conselho Estadual de Energia 93
Consenso 95, 96, 100, 101, 102
Consistência dos juízos 98
Constituição Federal 37
Consumo de energia 61, 72, 113, 114, 118
Consumo *per capita* de eletricidade 93, 104
Contaminación ambiental 11, 14, 22, 25, 26, 32
Créditos gubernamentales 15, 23
Crescimento 8, 38, 53, 54, 56, 57, 60, 93, 113, 114, 116
Crise de abastecimento 58, 92
Crise de abastecimento de eletricidade 92
Crise do petróleo 67
Critérios 43, 57, 91, 94, 96, 97, 99, 100, 102, 104, 116, 122
Critérios de regulação e legislação dos mercados 91
Cuba 8, 11, 12, 13, 15, 19, 21, 22, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 39, 40, 45, 113
Cubasolar 14
Custos de geração de energia hídrica 55

d
Decisões 9, 57, 60, 67, 69, 83, 104, 115, 118
Declarações de direitos humanos 48
Decreto-Ley n.º 345 14
Demanda de energia 39, 44, 45, 47, 113, 114
Demanda energética 21, 113
Desafios 53, 104
Desarrollo económico 12, 13, 15, 31, 41
Desarrollo sostenible 11, 12, 13, 41, 43
Desenho da política econômica 91
Desenvolvimento econômico 8, 39, 38, 42, 44, 48, 60
Desenvolvimento sustentável 8, 9, 38, 39, 42, 48, 71, 68, 69, 70, 72, 78, 79, 83, 84, 85, 86, 118
Desenvolvimento tecnológico 54
Diagnóstico 115, 117
Dimensões 9, 60, 69, 70, 71, 78, 80, 84, 85, 92, 94, 96, 99, 102, 104, 114, 116, 117, 118, 119, 122, 123
Dimensões da energia 92, 94, 96, 99, 104
Dimensões de análise 80
Dimensões econômica, social e ambiental 71
Direito ao desenvolvimento econômico 44
Direito comparado 8, 37
Direitos fundamentais 48

- e**
- Economia paranaense 93
 - Educação ambiental 41, 42
 - Energy Foundation China (EFCHINA) 70, 72, 73
 - Eficiência energética 38, 40, 44, 47, 59, 61, 63, 67, 68, 82, 121, 129
 - Energy Indicators for Sustainable Development (EISD) 68, 69, 70, 74, 78, 84, 85
 - Eletricidade 40, 45, 55, 60, 80, 81, 91, 92, 93, 94, 104, 113
 - Eletrificação 113
 - Empreendimentos do setor elétrico 8, 39
 - Empreendimentos hidrelétricos 45, 57, 92
 - Energia eólica 59, 60, 62
 - Energía eólica 17, 27
 - Energía renovable / Energia renovável 13, 26, 44, 54, 82
 - Entraves regulatórios 8, 39
 - Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 70, 71, 73, 85
 - Equilíbrio ecológico 41, 42, 43, 48
 - Escala temporal 116
 - Escassez de chuvas 56, 92
 - Especialistas 55, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 100, 101, 104
 - Especialistas do setor elétrico 91, 92
 - Especificidades 27, 85, 86, 99
 - Estado do Paraná 91, 93, 102, 104
 - Eurostat 70, 73
 - Expansão do parque gerador de energia elétrica 58
 - Expansão do setor elétrico 61
- f**
- Federation of Electric Power Companies of Japan (FEPC) 70, 72, 85
 - Fonte eólica 57
 - Fonte hidrelétrica 57
 - Fontes alternativas 104
 - Fontes renováveis 8, 39, 40, 45, 47, 56, 92, 117
 - Fontes renováveis de energia 8, 40, 47
 - Fortalecimento político 83, 84
 - Fuentes Renovables de Energía (FRE) 13, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 32
- g**
- Gas Natural Licuado (GNL) 16, 18, 19, 25, 26
 - Generación de electricidad 14, 15, 17, 19, 21, 25, 44
 - Geração hidráulica 92
 - Gestores 9, 116, 118, 121,
 - Governança 8, 83, 84
 - Grupo Azucarero AZCUBA 23

- h**
- Helio International 70, 71, 73, 78, 79, 83, 84, 85
 - Hidrelétrica de Itaipu 93
 - Hidroelétricas 14, 21
 - Hidroeletricidade 53, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 92, 93, 102
 - Hidroenergía 17, 29, 30,
 - Hydro-Québec 70, 71, 72, 73, 78, 85
- i**
- Impactos ambientais 54
 - Índia 68, 70, 72, 73, 85
 - Indicadores 8, 9, 20, 58, 61, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 78, 79, 80, 83, 84, 85, 86, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 122, 123
 - Indicadores de sustentabilidade energética 61
 - Indicadores energéticos 68, 69, 70, 73, 72, 73, 73, 77, 79, 84, 114, 118
 - Informação 39, 71, 83, 96, 97, 115, 116, 123
 - Instituições 59, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 78, 79, 84, 85, 86, 119, 122, 123
 - Inversión extranjera directa 15, 23
 - Investimentos em energia renovável 54
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 70, 72, 73, 85
- j**
- Japão 68, 70, 72, 73, 85
- l**
- Legislação ambiental 38
 - Legislação brasileira 37
 - Legislação cubana 39
 - Legislações ambientais 57, 92
 - Levantamento bibliográfico 70
 - Licenciamento ambiental 96
- m**
- Macroindicadores 116
 - Manejo sustentável dos recursos naturais 93
 - Marco regulatório 47, 59
 - Matriz 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 38, 39, 45, 48, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 70, 71, 85, 86, 91, 92, 93, 94, 97, 98, 102, 104, 115, 118, 119, 121, 122, 123
 - Matriz de comparação pareada 98
 - Matriz de decisão 91, 102, 104
 - Matriz de tomada de decisão 115
 - Matriz energética 12, 13, 14, 15, 16, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 31, 32, 38, 44, 45, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 70, 71, 85, 91, 92
 - Matriz Energética Nacional (MEN) 38, 44, 47, 53
 - Matriz tecnológica 12, 32
 - Matrizes energéticas 118, 123
 - Medio ambiente 12, 41, 42, 43
 - Meio ambiente 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 48, 55, 57, 61, 67, 114
 - Meio ambiente ecologicamente equilibrado 40, 48

Melhoria 38, 39, 41, 123
Metas 13, 19, 122, 123
Método AHP 97, 101
Método Delphi 91, 94, 95, 96, 100, 101, 101
Método multicritério 91, 96
Metodologia(s) 85, 91, 99, 100, 118, 119, 123, 125
Métodos de avaliação 123
Microindicadores 117
Ministerio de Energía y Minas (MINEM) 23
Ministerio de la Agricultura (MINAG) 23
Ministério de Minas e Energia (MME) 40, 70, 71, 85
Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) 70, 72, 73
Modelo de desenvolvimento 118
Monitoramento 39, 115, 116, 117
Mudanças 53, 61, 96, 124

n Negócio da hidroenergia 104
Níveis de desempenho 122, 123

O Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 13
Oficina Nacional para el Control del Uso Racional de la Energía (ONURE) 22, 28
Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) 70, 73, 78, 85

p Países 23, 30, 45, 48, 55, 57, 59, 60, 61, 62, 72, 74, 79, 85, 91, 92, 94, 113, 123
Países em desenvolvimento 55, 62, 91
Paneles fotovoltaicos 47
Parque eólico 57, 59
Participação das fontes renováveis na matriz energética 56
Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) 55, 94
Perdas térmicas 58
Performance 84, 122
Perspectivas ambiental, econômica, social e institucional 94
Peso relativo 98, 104
Pesquisa 37, 41, 43, 53, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 78, 79, 83, 84, 85, 86, 91, 95, 96, 100, 102, 106
Pesquisa energética 68, 79
Petrobrás 70, 71, 85
Planejamento 38, 41, 47, 53, 59, 61, 67, 85, 93, 94, 99, 104, 115, 116
Planejamento energético 61, 67, 94, 99, 104
Planejamento energético brasileiro 53
Plano de Expansão 2024 57, 94
Plano Decenal de Expansão e Energia 57
Plano Nacional de Energia (PNE) 38
Plantas de biogás 13, 21

Política energética 12, 14, 15, 19, 25, 32, 59, 61, 91, 93
Política energética de Cuba 24
Política energética local 93
Política Nacional do Meio Ambiente 38, 41, 42,
Políticas públicas 38, 42, 44, 48, 59, 104
Políticas públicas ambientais 42
Portadores energéticos 22
Potencial de fontes renováveis 45
Potencial de geração 93
Potencial de mercado 59
Potencial hidráulico 92
Precaução 42
Preços justos 93
Princípio do desenvolvimento sustentável 38, 42
Prioridades 16, 25, 97, 98, 117
Produção de hidroenergia 53
Proteção ao meio ambiente 39, 48

r

Recursos 11, 18, 19, 21, 38, 39, 47, 61, 96, 99, 113, 119, 123
Recursos naturais 60, 71, 91, 93, 114, 117
Recursos naturales 12, 41
Renovável 44, 45, 48, 54, 58, 62, 82, 91
Resiliência 83, 84
Rio-92 67, 68, 69, 84
Rios Paraná, Iguaçu e Paranapanema 93
Riscos financeiros 59

s

Setor elétrico 37, 53, 54, 57, 58, 59, 60, 61, 91, 92, 93, 96, 101, 104
Setor elétrico brasileiro 53, 58, 59, 92
Setor energético 44, 47, 118, 119
Setor hidrelétrico 118, 119, 121
Shakti Sustainable Energy Foundation (SHAKTI) 70, 72, 85
Sistema Electroenergético Nacional (SEN) 15, 16, 17, 18, 20, 21, 25, 26
Socioambientais 57, 62
Subcritérios 102, 104, 119, 121
Sustentabilidade 38, 54, 59, 61, 71, 84, 87, 99, 114, 115, 117, 119, 123
Sustentabilidade ambiental 84

t

Tomada de decisão 82, 92, 94, 97, 99, 104, 115, 121, 123
Tomadores de decisão 83, 118
Tutela do meio ambiente 38, 52
Tennessee Valley Authority (TVA) 70, 71, 72, 73, 79, 85

u

UN-Energy 71, 70, 73, 85
Usinas Hidrelétricas (UHE) 56, 57, 58, 59, 103, 120, 121

Usinas termelétricas 58, 93
Uso eficiente da energia 39, 47

V Variáveis 91, 94, 95, 96, 99, 101, 102, 104, 114, 122
Vetor de prioridades 98
Vulnerabilidade 38, 83, 84

W World Energy Council (WEC) 70, 72, 73, 78, 79, 83, 84, 85, 86, 115

Título	Políticas públicas, energias renováveis e desenvolvimento sustentável: estudos aplicados no Brasil e em Cuba
Formato	18 x 24 cm
Tipografia	Minion Pro Robert Slimbach
Licença	CC BY-NC-ND

EDUTFPR Este livro, produzido pela EDUTFPR, é financiado com recurso público e visa à ampla e democrática disseminação do conhecimento. Esta edição promove o ODS 4 Educação de qualidade, que tem o intuito de assegurar a educação inclusiva, equitativa e de qualidade para todos, envolvendo docentes e discentes em sua produção e promovendo diversas oportunidades de aprendizagem ao longo da vida. Além disso, é favorável à preservação de árvores e diminuição da pegada de carbono global.

Curitiba
25°26'20.4"S 49°16'08.4"W
Feito no Brasil
Made in Brazil
2023

A energia constitui um pilar essencial para o desenvolvimento em qualquer contexto. Em Cuba, o Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social até 2030 (PNDES 2030) propõe em seu eixo estratégico de Infraestrutura a necessidade de "Garantir, em condições de sustentabilidade ambiental, uma oferta energética adequada, confiável, diversificada e moderna que aumente substancialmente o percentual de participação de fontes renováveis de energia na matriz energética nacional, essencialmente da biomassa, da eólica e da fotovoltaica". O trabalho desenvolvido por meio do Projeto de Colaboração Internacional "Energias renováveis: construção de uma matriz de decisão de multicritério para opção da matriz tecnológica", correspondente ao Programa CAPES/MES-Cuba – Projeto n.º 189/13, Edital n.º 046/2013, oferece uma análise comparativa entre o Brasil e Cuba sobre a necessária transformação da matriz energética que deverá ser acelerada nos próximos anos. Convidamos a todos os interessados a ler e a refletir sobre o tema abordado por professores e colaboradores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e da Universidade de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca" (UPR).

Dr. C. Yorki Mayor Hernández Reitor da Universidade de Pinar del Río
"Hermanos Saíz Montes de Oca"