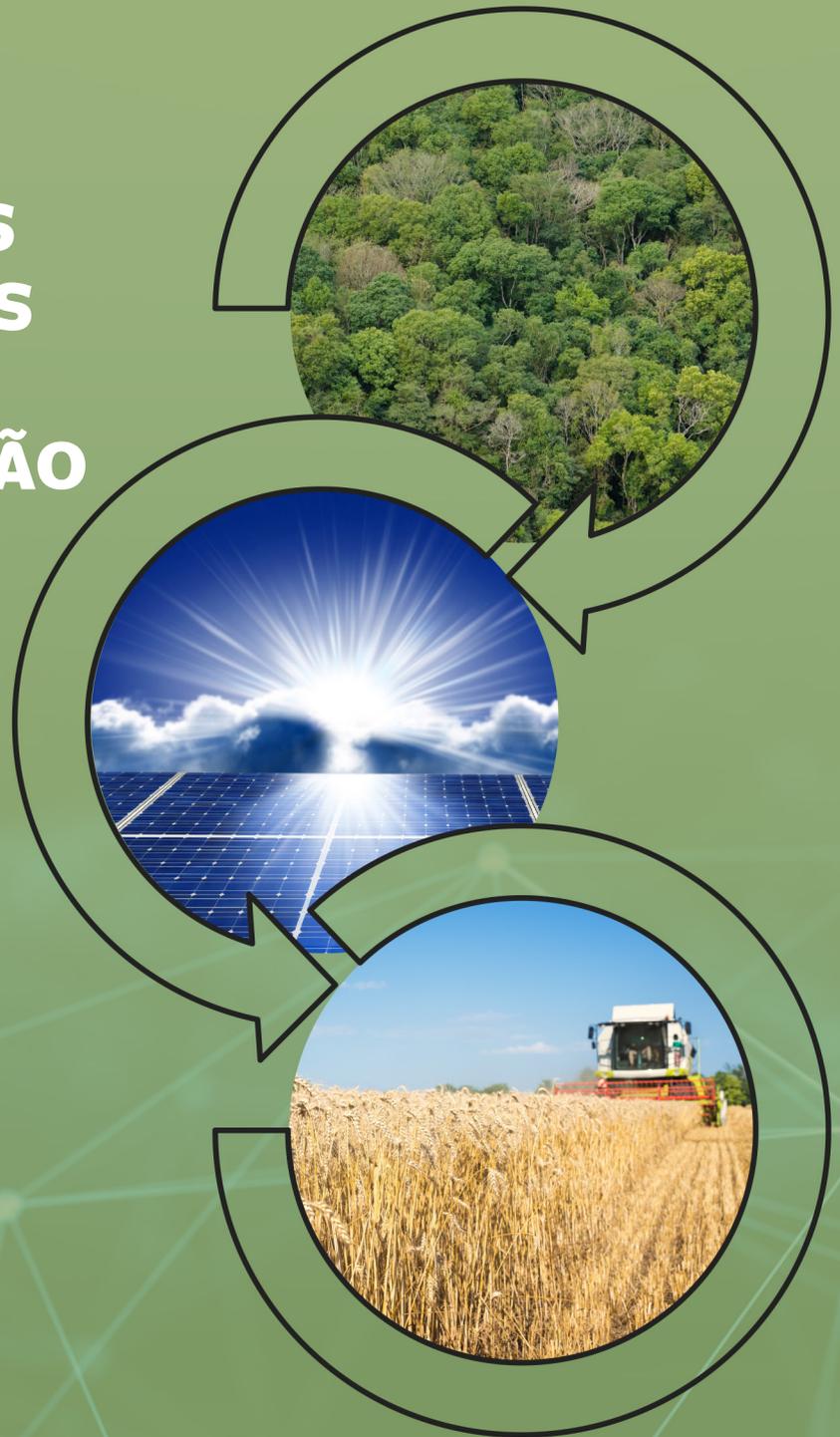




RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE NECESSIDADES TECNOLÓGICAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PLANOS DE AÇÃO CLIMÁTICA NO BRASIL: MITIGAÇÃO

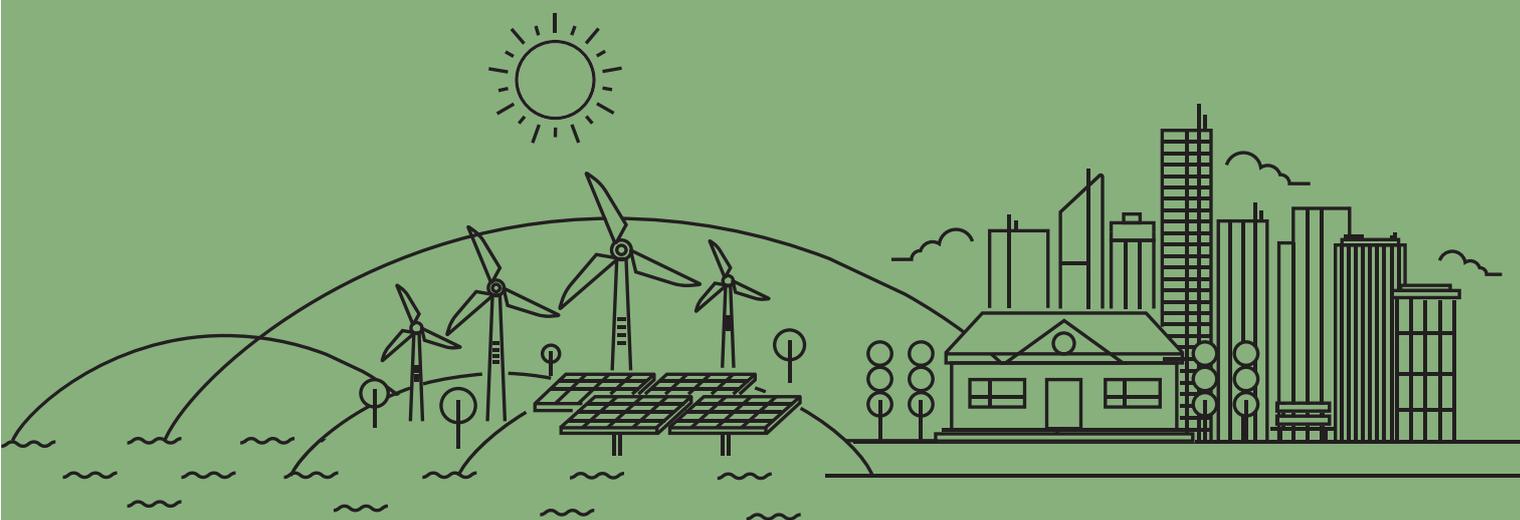


RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE NECESSIDADES TECNOLÓGICAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PLANOS DE AÇÃO CLIMÁTICA NO BRASIL: MITIGAÇÃO

Brasília

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

2021



Ficha Catalográfica

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.
Coordenação-Geral de Ciência do Clima e Sustentabilidade
Bloco E, Sala 295, Zona Cívico-Administrativa, Esplanada dos Ministérios
CEP 70067-900 – Brasília/DF
Tel.: +55 (61) 2033-7923
<https://www.gov.br/mcti>

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Casa da ONU – Complexo Sérgio Vieira de Mello
Setor de Embaixadas Norte, Quadra 802, Conjunto C, Lote 17
CEP 70800-400 – Brasília/DF
Tel.: +55 (61) 3038-9233
web.unep.org/regions/brazil

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R382

Relatório de avaliação de necessidades tecnológicas para implementação de planos de ação climática no Brasil: mitigação. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2021.

215 p.: il.

ISBN: 978-65-87432-15-1

1. Mudanças climáticas – Plano de ação – Brasil. 2. Gases de efeito estufa – Mitigação – Brasil. 3. Redução de gases do efeito estufa – Tecnologias – Brasil. I. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. II. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. III. Projeto Avaliação das Necessidades Tecnológicas para Implementação de Planos de Ação Climática no Brasil (TNA_BRAZIL).

CDU 551.583:62:35.077(81)

Expediente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente da República Federativa do Brasil

Jair Messias Bolsonaro

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovações

Marcos Cesar Pontes

Secretário Executivo

Leonidas de Araújo Medeiros Júnior

Secretário de Pesquisa e Formação Científica

Marcelo Marcos Morales

Diretor do Departamento de Ciências da Natureza

Sávio Túlio Oselieri Raeder

Coordenador-Geral de Ciência do Clima e Sustentabilidade

Márcio Rojas da Cruz

AUTORIDADE NACIONAL DESIGNADA PARA O FUNDO VERDE DO CLIMA NO BRASIL

Secretário de Assuntos Econômicos Internacionais do Ministério da Economia

Erivaldo Alfredo Gomes

Subsecretário de Instituições Internacionais de Desenvolvimento

Marcos Machado Guimarães

Coordenadora-Geral de Instituições Globais de Desenvolvimento

Raquel Breda dos Santos

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE – PNUMA

Diretora Executiva do PNUMA

Inger Andersen

Diretor Regional do PNUMA para América Latina e Caribe

Leo Heileman

Representante do PNUMA no Brasil

Denise Hamú

Oficial de Programas do PNUMA no Brasil

Regina Cavini

EQUIPE TÉCNICA DO MCTI

Diretora Nacional do Projeto de Avaliação das Necessidades Tecnológicas para Implementação de Planos de Ação Climática no Brasil

Sonia Regina Mudrovitsch de Bittencourt

Coordenador Nacional do Projeto de Avaliação das Necessidades Tecnológicas para Implementação de Planos de Ação Climática no Brasil

Antônio Marcos Mendonça

Coordenador Técnico do Projeto de Avaliação das Necessidades Tecnológicas para Implementação de Planos de Ação Climática no Brasil

Régis Rathman

Equipe Técnica da Coordenação-Geral de Ciência do Clima e Sustentabilidade

Andréa Nascimento de Araújo

Bruno Xavier de Sousa

Daniella Gonçalves Mattar

Diogo Victor Santos

Lidiane Rocha de Oliveira Melo

Marcela Cristina Rosa Aboim Raposo

Ricardo Rocha Pavan da Silva

Ricardo Vieira Araújo

Rodrigo Henrique Macedo Braga

Suiá Kafure da Rocha

Equipe Administrativa da Coordenação-Geral de Ciência do Clima e Sustentabilidade

Kediley Márcio de Sousa

Maria do Socorro da Silva Lima

Pabliny Rodrigues Santos

Equipe Técnica do Programas das Nações Unidas para o Meio Ambiente

Mariana Chrisostomo de Almeida

Tatiana Francisco

AUTORES

Régis Rathmann
Roberto Schaeffer
Raoni Rajão
Alexandre Szklo
Amanda Vinhoza
Ana Célia Nogueira
André Lucena
Camilla Pires Marcolino

Fábio Teixeira Ferreira da Silva
Felipe Nunes
Francielle Carvalho
Isabela Tagomori
Laura Virgínia Soares Veloso
Pedro Rochedo
Sonia Regina Mudrovitsch de Bittencourt
Antônio Marcos Mendonça

COLABORADORES

Barbara Bressan
Cláudio Almeida
Davi Bomtempo
Danielle Costa de Holanda
Danielly Godiva Santana Molleta
Délio Noel Gomes de Carvalho
Dominique Mouette
Edmilson dos Santos
Eleneide Sotta
Erica Vieira Marcos
Fábio Sakatsume
Felipe Arias Fogliano de Souza Cunha
Felipe Lenti
Fernando Araldi
Fernando Luiz Zancan
Filipe Augusto da Costa Garcia
Giampaolo Queiroz Pellegrino
Giovana Dalpont
Giovanna Lunkmoss de Christo
Gustavo Barbosa Mozzer
Jean Pierre Ometto
Joana Borges da Rosa
Julio Minelli
Lidiane Melo
Lucila Caselato
Katia Marzall
Luis Fernando Badanhan

Marcela Aboim Raposo
Marcelo Poppe
Márcio Rojas da Cruz
Marco Aurélio Araújo
Marcus Vinicius Cantarino
Maria Fernanda Pelizzon Garcia
Maria José Amstalden Moraes Sampaio
Mariana Lucas Barroso
Mário Henrique Rodrigues Mendes
Mauricio Francisco Henriques Jr.
Mauro Meirelles de Oliveira Santos
Morenno de Macedo
Oswaldo Lucon
Patrícia Boson
Raphael Stein
Raquel Breda dos Santos
Renata Patricia Soares Grisoli
Roberta Zecchini Cantinho
Rodrigo Braga
Rodrigo Costa
Rodrigo Rodrigues Fonseca
Rodrigo Vellardo Guimarães
Ronan Luiz da Silva
Sérgio Ferreira Cortizo
Stephanie Betz
Viviane Romeiro

INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS

- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
- Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina
- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
- Associação Brasileira do Carvão Mineral
- Associação Dos Produtores De Biocombustíveis do Brasil
- Banco Nacional De Desenvolvimento Econômico e Social
- Caixa
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
- Centro de Inteligência Territorial
- Confederação Nacional da Indústria
- Confederação Nacional do Transporte
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- Empresa de Pesquisa Energética
- Financiadora de Estudos E Projetos
- Instituto Aço Brasil
- Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- Instituto Nacional de Tecnologia
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
- Ministério da Economia
- Ministério de Minas e Energia
- Ministério do Desenvolvimento Regional
- Ministério do Meio Ambiente
- Universidade de São Paulo
- Universidade Federal de Minas Gerais
- Universidade Federal do Rio de Janeiro
- World Resources Institute

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABCM –	Associação Brasileira do Carvão Mineral
ABDI –	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Absolar –	Associação Brasileira da Energia Solar Fotovoltaica
ADMC –	Análise de decisão multicritério
Afolu –	Agricultura, floresta e outros usos da terra
AHP –	Análise hierárquica de processos
Aneel –	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP –	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AP –	Agricultura de precisão
Aprobio –	Associação dos Produtores de Biocombustíveis
ATJ –	<i>Alcohol-to-jet</i>
BNDES –	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Câmara I4.0 –	Câmara Brasileira da Indústria 4.0
Capex –	Custo de capital
CAR –	Cadastro Ambiental Rural
CBPAD –	Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão e Digital
CCS –	<i>Carbon capture and storage</i>
Celpe –	Companhia Energética de Pernambuco
Cemig –	Companhia Energética de Minas Gerais
Cenpes –	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
Cenpes/Petrobras –	Centro de Pesquisa da Petrobras
Cepel –	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobras
Cetesb –	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGCL/MCTI –	Coordenação-Geral de Ciência do Clima e Sustentabilidade do MCTI
CGEE –	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CGTL –	CompactGTL
CI –	Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado
CNT –	Confederação Nacional dos Transportes
Copel –	Companhia Paranaense de Energia
CPQD –	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
CS –	Câmaras Setoriais de Especialistas do projeto TNA_BRAZIL
CSP –	Energia solar térmica
CTBE/CNPEM –	Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
CTC –	Comitê Técnico Consultivo do Projeto TNA_BRAZIL
CTCL –	Centro Tecnológico de Carvão Limpo da Faculdade SATC
CTCN –	Climate Technology Centre and Network
CTGAS-ER –	Centro de Tecnologia do Gás e Energia Renovável
DNP –	Direção Nacional do Projeto TNA_BRAZIL
DoD –	U.S. Department of Defense
DPC –	<i>Drying, Pyrolysis and Cooling</i>
E&P –	Exploração e produção
EESC –	Escola de Engenharia de São Carlos
Embrapa –	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapii –	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ENCTI –	Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
END –	Entidade nacional designada
EPE –	Empresa de Pesquisa Energética
EQ –	Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro
ETEs –	Estações de tratamento de esgotos
Fapesp –	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FCC –	Unidades de craqueamento catalítico
Finep –	Financiadora de Estudos e Projetos
FPSO –	<i>Floating production storage and offloading</i>
GCF –	Fundo Verde para o Clima
GEE –	Gases de efeito estufa
GEF –	Global Environment Facility
GNL –	Gás natural liquefeito
GTL –	<i>Gas-to-liquids</i>
IABr –	Instituto Aço Brasil
Iata –	International Air Transport Association
ICMS –	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
Inpe –	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INT –	Instituto Nacional de Tecnologia
IOF –	Imposto sobre Operações Financeiras
Ipam –	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPI –	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA –	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
Irena –	Agência Internacional para as Energias Renováveis
ITA –	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
LaMPaC/UFMG –	Laboratório de Materiais e Pilhas a Combustível da UFMG
Lasup/UFRJ –	Laboratório de Aplicações de Supercondutores da Coppe/UFRJ
Mapa –	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCI –	Motor a combustão interna
MCTI –	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MCTIC –	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação
MDR –	Ministério do Desenvolvimento Regional
ME –	Ministério da Economia
MGA –	Melhoramento genético animal
MMA –	Ministério do Meio Ambiente
MME –	Ministério de Minas e Energia
Mob-i –	Centro de Mobilidade Sustentável
Must –	Montante de utilização do sistema de transmissão
Nasa –	National Aeronautics and Space Administration
NDC –	Contribuição Nacionalmente Determinada
ODS –	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OEBs –	Ônibus elétricos a bateria
OGMs –	Organismos geneticamente modificados
Opex –	Custo de operação
OPVs –	Painéis fotovoltaicos constituídos de células orgânicas
PaCOS –	Pilha a combustível óxido sólido
PACTI –	Plano de Ações em Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional
Padis –	Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays
PAM/Coppe/UFRJ –	Laboratório de Processos de Separação com Membranas e Polímeros do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
PATs –	Planos de Ação Tecnológica
PCMs –	<i>Phase change materials</i>
PIS/Cofins –	Programa de Integração Social/Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

Planaveg –	Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa
Plano ABC –	Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura
PNMC –	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNPB –	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
Pnuma –	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPCDAm –	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PPCerrado –	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado
Proálcool –	Programa Nacional do Álcool
Proconve –	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
ProGD –	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
Proinfa –	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RCGI/USP –	Centro de Pesquisa para Inovação em Gás da Universidade de São Paulo
Reidi –	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
RSB –	Roundtable on Sustainable Biomaterials
RSUs –	Resíduos sólidos urbanos
Senai –	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Sicar –	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SIX –	Unidade de Industrialização do Xisto da Petrobras
Smile –	Sistema Solar Híbrido com Microturbina para Geração de Eletricidade e Cogeração de Calor na Agroindústria
SNCTI –	Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
TCO –	<i>Total cost of ownership</i>
TNA –	<i>Technology Needs Assessment</i>
TRL –	Nível de maturidade tecnológica
UFJF –	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFMG –	Universidade Federal de Minas Gerais
UFOP –	Universidade Federal de Ouro Preto
UFRJ –	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN –	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSC –	Universidade Federal de Santa Catarina
UGH –	Unidades de geração de hidrogênio
UHEs –	Usinas hidrelétricas
UnB –	Universidade de Brasília
UNFCCC –	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
Unica –	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
Unicamp –	Universidade Estadual de Campinas
Unifei –	Universidade Federal de Itajubá
UREs –	Usinas de recuperação energética
USP –	Universidade de São Paulo
VCI –	Veículos de motor a combustão interna
VEBs –	Veículos elétricos a bateria
VEPCs –	Veículos elétricos a pilha a combustível
VTOLs –	Veículos verticais elétricos de decolagem e aterragem
WBCSD –	Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável
WWF –	World Wide Fund for Nature
ZEBs –	<i>Zero energy buildings</i>

Lista de Figuras

Figura 1 – Fases de elaboração do relatório de TNA	16
Figura 2 – Membros e competência do CTC e da CS do projeto TNA_BRAZIL	18
Figura 3 – Estrutura hierárquica da ADMC para análise multicritério	21
Figura 4 – Fluxograma das etapas de pré-seleção, pontuação, ranqueamento e priorização multicritério de setores e tecnologias mitigadoras de emissões do projeto TNA_BRAZIL	22
Figura 5 – Processo de pré-seleção das tecnologias mitigadoras de emissões	24
Figura 6 – Estrutura da ferramenta AHP aplicada para pontuação e ranqueamento de tecnologias mitigadoras de emissões	25

Lista de Quadros

Quadro 1 – Descrição dos macrocritérios e dos indicadores considerados na ferramenta AHP	26
Quadro 2 – Escala de pontuação conforme a classificação do desempenho de uma tecnologia em determinado critério	27
Quadro 3 – Escala de pontuação dos níveis de prontidão tecnológica	27
Quadro 4 – Escala de pontuação do indicador de potencial de mitigação de emissões	28
Quadro 5 – Escala de pontuação do indicador de custos de mitigação de emissões	28
Quadro 6 – Estrutura geral das perguntas do questionário aplicado aos <i>stakeholders</i>	29
Quadro 7 – Matriz de julgamento de pares	29
Quadro 8 – Passos para o cálculo do vetor de prioridades	30
Quadro 9 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor industrial	34
Quadro 10 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de energia	39
Quadro 11 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de transportes	42
Quadro 12 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de resíduos	46
Quadro 13 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de edificações	47
Quadro 14 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de Afolu	48
Quadro 15 – Pontuação das tecnologias por indicador	53
Quadro 16 – <i>Ranking</i> das necessidades tecnológicas e desenvolvimento e/ou difusão	59
Quadro 17 – Número de tecnologias priorizadas por setor, subsetor e métodos de seleção	61
Quadro 18 – Tecnologias priorizadas por setor e subsetor	62

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Distribuição da frequência de respostas relativamente ao peso dos indicadores	51
Gráfico 2 – Desvio dos pesos atribuídos aos indicadores	52
Gráfico 3 – Desvio dos pesos atribuídos aos macrocritérios	53

Sumário

INTRODUÇÃO	14
1. ARRANJOS INSTITUCIONAIS PARA O ENGAJAMENTO DE ATORES-CHAVE NO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE NECESSIDADES TECNOLÓGICAS	17
2. METODOLOGIA DE PRÉ-SELEÇÃO, RANQUEAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS	20
2.1. Pré-seleção de tecnologias	23
2.2. Análise multicritério	24
2.2.1. Definição dos critérios e dos indicadores	25
2.2.2. Pontuação das tecnologias	27
2.2.3. Método de ponderação	29
2.3. Ranqueamento e priorização de tecnologias	31
3. TECNOLOGIAS MITIGADORAS DE EMISSÕES PRÉ-SELECIONADAS	32
3.1. Tecnologias pré-selecionadas no setor industrial	33
3.2. Tecnologias pré-selecionadas no setor de energia	38
3.3. Tecnologias pré-selecionadas no setor de transportes	42
3.4. Tecnologias pré-selecionadas no setor de resíduos	45
3.5. Tecnologias pré-selecionadas no setor de edificações	47
3.6. Tecnologias pré-selecionadas no setor de Afolu	48
4. PONTUAÇÃO, RANQUEAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS MITIGADORAS DE EMISSÕES	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICES	69

Introdução



Introdução

O projeto “Avaliação das Necessidades Tecnológicas para Implementação de Planos de Ação Climática no Brasil (TNA_BRAZIL)” tem por objetivo reforçar a capacidade técnica do governo brasileiro, por meio do desenvolvimento de uma avaliação abrangente das necessidades tecnológicas para implementação de Planos de Ação Climática no país, com vistas a fornecer subsídios às tomadas de decisão referentes ao cumprimento das metas de mitigação de gases de efeito estufa (GEE), levando em consideração a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira e a Estratégia do Brasil para o Fundo Verde para o Clima (GCF).

O GCF é um dos mecanismos financeiros da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) que se destina a canalizar financiamento climático para os países em desenvolvimento visando apoiar atividades de mitigação e adaptação à mudança do clima. Por sua vez, a elaboração de reportes de Avaliação de Necessidades Tecnológicas (TNA, do inglês *Technology Needs Assessment*) é recomendada aos países no âmbito do mecanismo de tecnologia da Convenção, do qual o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) é a entidade nacional designada (END) responsável pela implementação e pela operacionalização do instrumento no Brasil.

O projeto TNA_BRAZIL, executado sob a responsabilidade da Coordenação-Geral de Ciência do Clima e Sustentabilidade (CGCL) do MCTI, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) e de parceiros técnicos, alinha-se a diversas iniciativas promotoras da sustentabilidade econômica, social e ambiental do país:

- Programa País para o GCF, do Brasil (BRASIL, 2018a);
- Edital da Financiadora de Estudos e Projeto (FINEP) para apoio a tecnologias 4.0 no montante de R\$ 50 milhões (BRASIL; FINEP, 2020);
- A Estratégia Federal de Desenvolvimento para o Brasil no período de 2020 a 2031, que abrange a visão de longo prazo para a atuação estável e coerente dos órgãos e das entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional, ten-

do entre seus desafios a promoção do crescimento sustentado do produto interno bruto (PIB) *per capita*, o aumento da produtividade da economia brasileira e a promoção da conservação e o uso sustentável dos recursos naturais, com foco na qualidade ambiental como um dos aspectos fundamentais da qualidade de vida das pessoas, conciliando a preservação do meio ambiente com o desenvolvimento econômico e social (BRASIL, 2020);

- Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) 2016-2022, que promove o desenvolvimento sustentável por meio do fortalecimento, da expansão, da consolidação e da integração do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI) (BRASIL, 2016);
- Iniciativa Regenera Brasil, cujo objetivo é contribuir com a pesquisa científica, o desenvolvimento tecnológico e a inovação para a geração de diretrizes que promovam a recuperação efetiva dos ecossistemas nativos brasileiros (BRASIL, 2020a);
- Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão e Digital (CBPAD), que objetiva promover o desenvolvimento da agricultura de precisão e digital no país (BRASIL, 2019c);
- Câmara Brasileira da Indústria 4.0 (Câmara I4.0), cujo objetivo é integrar as políticas públicas do governo federal de fomento à indústria 4.0, manufatura avançada e internet das coisas (BRASIL, 2019a).

O processo de elaboração do projeto possui três fases: i) identificação e priorização de tecnologias para os setores selecionados; ii) análise das cadeias de valor, cobenefícios e principais barreiras que vão de encontro ao desenvolvimento e à difusão das tecnologias priorizadas; e iii) proposição, com base nos resultados anteriores, de Planos de Ação Tecnológica (PATs) para fomentar o desenvolvimento e a difusão das tecnologias priorizadas para cada setor avaliado.

Esta primeira etapa do projeto TNA_BRAZIL, intitulada de avaliação de necessidades tecnológicas (TNA), aponta as tecnologias mitigadoras de emissões para os setores selecionados, com possibilidade de serem desenvolvidas

e/ou difundidas até 2030. Para atender a esse objetivo, três atividades foram executadas: i) pré-seleção de setores e tecnologias mitigadoras de emissões; ii) elaboração de indicadores de desenvolvimento sustentável para pontuação, via análise multicritério – análise hierárquica

de processos (AHP) –, das tecnologias e dos setores pré-selecionados; e iii) ranqueamento e priorização de tecnologias para a realização de análises de cadeia de valor, cobenefícios, barreiras e elaboração de PATs. A figura 1 resume as etapas deste relatório de TNA.

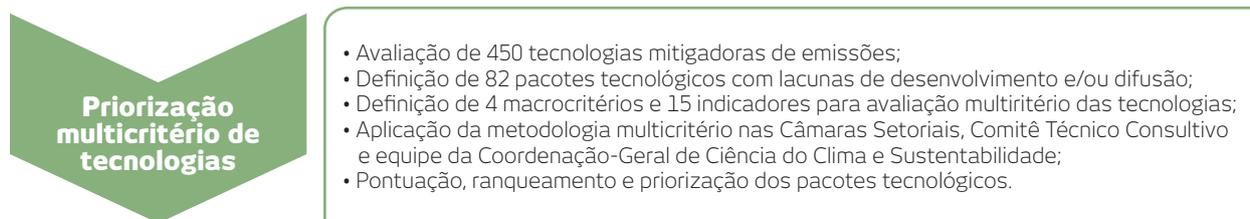


Figura 1 – Fases de elaboração do relatório de TNA

Elaboração do autor.

Para identificar tecnologias de baixo carbono, é necessário, inicialmente, definir a abordagem tecnológica. O significado de “tecnologia” pode variar de acordo com a perspectiva de um ator (DE CONINCK; SAGAR, 2015), desde um ponto de vista estritamente técnico – engenharia e máquinas – até uma ideia mais ampla, incluindo elementos comportamentais e organizacionais (OLSEN; ENGEN, 2007). Para definir um escopo adequado de tecnologias mitigadoras de emissões de GEE, considerando o objetivo deste trabalho, foi adotado um conceito de tecnologia *stricto sensu*, definido como a integração entre máquinas, dispositivos, ferramentas ou artefatos e o conhecimento e o desenvolvimento necessários para operá-los em toda a extensão e alcance. Partindo dessa definição, a TNA é entendida como um processo que identifica as condições iniciais para a remoção de entraves à penetração de tecnologias que podem estar relacionados ao conhecimento, à experiência, à difusão e ao estágio de desenvolvimento tecnológico. Além disso, a ideia de explorar um aspecto mais estrito para a tecnologia deriva do objetivo de fornecer as informações necessárias para desenvolver PATs com vistas à superação das barreiras associadas ao “vale da morte” das tecnologias¹ (HASELIP; NARKEVIČIŪTĖ; ROGAT, 2015).

Diante disso, este relatório de TNA possui quatro seções, além desta introdução e das considerações finais. Inicialmente, são reportados os arranjos institucionais estabelecidos para aplicação da metodologia multicritério visando à análise de TNA. Em seguida, são descritos os procedimentos metodológicos aplicados para a pré-seleção, a pontuação, o ranqueamento e a priorização de tecnologias mitigadoras de emissões. As seções seguintes tratam de percorrer estas etapas, culminando nas 12 tecnologias priorizadas para a elaboração de PATs, que devem considerar as circunstâncias nacionais, as barreiras e os cobenefícios da adoção delas até 2030.

Cumprido ressaltar que o conjunto de tecnologias priorizadas decorreu exclusivamente do cronograma físico-financeiro, conforme apontado pela Direção Nacional do Projeto (DNP), para a elaboração de planos de ação. Todas as tecnologias pré-selecionadas são prioritárias para o país, devendo-se envidar esforços para implementá-las em toda extensão e alcance, maximizando, assim, os cobenefícios alcançados.

¹ O “vale da morte” compreende um conjunto de barreiras endêmicas à maioria das inovações tecnológicas. Diz respeito à indisponibilidade de meios, entre os quais planos de ação e financiamento, para superação de duas etapas transitórias do desenvolvimento tecnológico: primeiro, o escalonamento da tecnologia do nível de laboratório à prova de conceito, denominado “vale tecnológico da morte”; e, posteriormente, da demonstração à escala comercial, referido como o “vale da morte da comercialização”.

1.

Arranjos Institucionais para o Engajamento de Atores-Chave **no Processo de Avaliação de Necessidades Tecnológicas**



1. ARRANJOS INSTITUCIONAIS PARA O ENGAJAMENTO DE ATORES-CHAVE NO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE NECESSIDADES TECNOLÓGICAS

O processo de TNA exige amplo processo de engajamento multinível de atores-chave, demandando, assim, a constituição de um Comitê Técnico Consultivo (CTC) e de Câmaras Setoriais (CS) de especialistas nos setores de energia e indústria; transportes, resíduos e edificações; e agricultura, florestas e outros usos da terra (Afolu). Estes foram conformados com o intuito de apoiar o desenvolvimento das diferentes etapas do projeto TNA_BRAZIL.

Foi definido que o processo de participação ocorresse mediante a realização de *workshops*, com disponibilização prévia mínima de sete dias dos documentos de apoio à tomada de decisão; no caso, produtos elaborados em prazo hábil por parceiros contratados por meio de acordos de cooperação.

A figura 2 resume as atribuições dos membros do CTC e das CS no processo de TNA, e o Apêndice I contempla a lista de membros permanentes destes fóruns de atores-chave.



Figura 2 – Membros e competência do CTC e da CS do projeto TNA_BRAZIL

Elaboração do autor.

Foram elaborados formulários multicritério para ponderação, junto aos atores-chave do projeto, dos indicadores de sustentabilidade propostos para avaliação das tecnologias pré-selecionadas, conforme metodologia descrita na figura 4 deste documento. Cinco seminários para aplicação da metodologia multicritério, precedidos do envio da documentação técnica expondo os objetivos da atividade e o conceito dos macrocritérios e dos indicadores, foram conduzidos pela DNP junto aos participantes listados no Apêndice II:

- O primeiro seminário, realizado no dia 28 de junho de 2019, em Brasília-DF, contou com a participação de servidores do MCTI e consultores do projeto “Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima”;
- O segundo, o terceiro e o quarto seminários abrangeram as CS do projeto e ocorreram nos dias 11 e 12 de julho de 2019, em Brasília-DF, tendo sido realizados respeitando o caráter multissetorial das CS,

- motivo pelo qual os três seminários foram conduzidos separadamente. Inicialmente, foram realizados os seminários multicritério com atores da CS de energia e indústria, seguidos da CS de transportes, resíduos e edificações. No dia seguinte, foi repetida a atividade para especialistas dos setores de Afolu;
- No quinto seminário de aplicação de metodologia multicritério, que ocorreu no dia 9 de agosto de 2019, em Brasília-DF, participaram os membros do CTC do projeto TNA_BRAZIL.

Interessante ressaltar que o processo de aplicação da metodologia ocorreu individualmente, não havendo divulgação de resultados parciais para não enviesar o posicionamento dos atores acerca da atribuição de graus de importância aos macrocritérios e aos indicadores listados na próxima seção deste documento. Ademais, os participantes não tiveram acesso às fichas de pontuação das tecnologias pré-selecionadas, o que implicaria viés setorial de posicionamento na seleção tecnológica.

2.

Metodologia de Pré-Seleção, **Ranqueamento e Priorização de Tecnologias**



2. METODOLOGIA DE PRÉ-SELEÇÃO, RANQUEAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS

O processo decisório sobre as tecnologias prioritárias no contexto do Brasil depende de uma série de critérios e indicadores que comparem os benefícios da implementação das diferentes alternativas para o atingimento do objetivo principal do estudo, que é reduzir as emissões nacionais de GEE. Contudo, este processo está inserido em um ambiente complexo, englobando critérios que contribuem de maneira diferente para o objetivo final e podem ser conflitantes entre si, além de envolverem vários agentes de decisão de distintos setores. Portanto, a fim de hierarquizar as diversas tecnologias identificadas, é proposta uma análise de decisão multicritério (ADMC), com ênfase nos cobenefícios gerados por estas tecnologias.

Uma das maneiras mais utilizadas para a execução da ADCM, e que foi escolhida para o presente

estudo, é a metodologia de AHP (SAATY; VARGAS, 2012). Esta metodologia possui a função de solucionar problemas complexos que envolvem diversas variáveis. A ideia central do método é formar uma estrutura hierárquica (figura 3), em que o primeiro nível consiste no objetivo final, seguido por níveis de critérios e subcritérios, até chegar às alternativas. Assim, os tomadores de decisão devem julgar, racional e intuitivamente, a importância dos critérios em determinado nível em relação apenas ao nível imediatamente superior. Deste modo, este procedimento de estruturação hierárquica simplifica a atribuição de pesos a uma série de critérios conflitantes, estabelecendo, ao final, um compromisso entre eles. Consequentemente, é possível selecionar as alternativas que melhor atendam a esse compromisso e contribuam ao objetivo final (*Ibidem*).

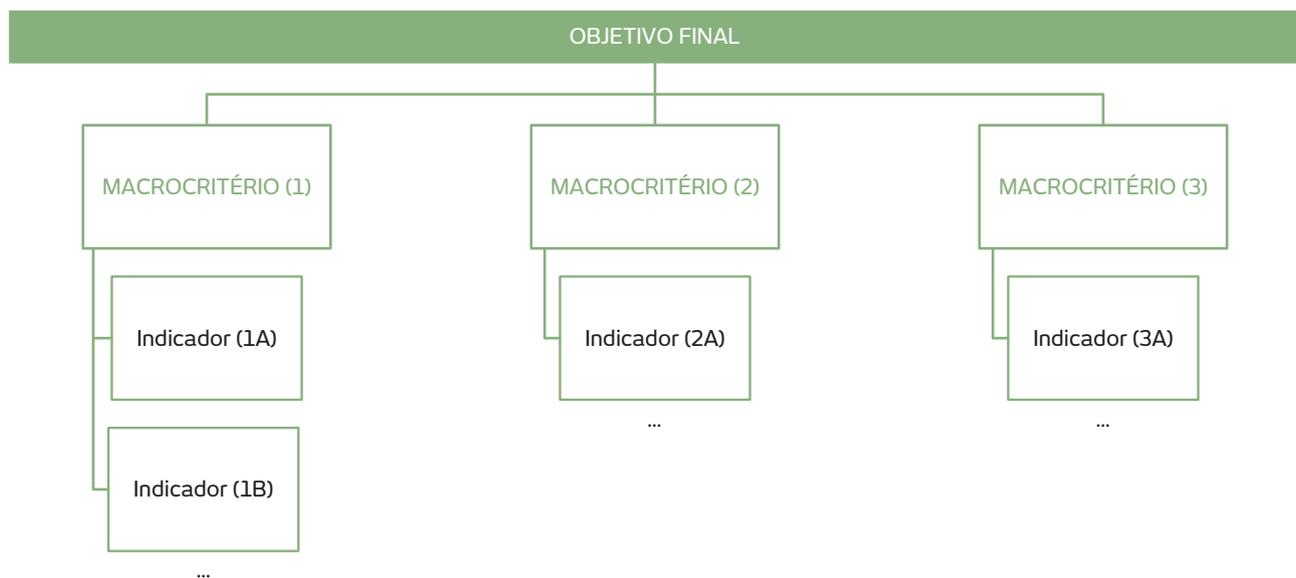


Figura 3 – Estrutura hierárquica da ADCM para análise multicritério

Elaboração do autor.

Logo, os passos para executar a análise multicritério, a partir da metodologia de AHP, são: i) definir o objetivo final; ii) identificar os critérios de cada nível (no caso deste TNA, macrocritérios e indicadores); iii) comparar os pares dos macrocritérios e dos indicadores; iv) calcular os pesos relativos dos macrocritérios e dos indicadores; v) atribuir pontuação às alternativas; vi) valoração final das alternativas; e vii) ranqueamento das alternativas.

O procedimento metodológico adotado divide-se em três etapas principais, a saber: i) pré-seleção das tecnologias; ii) análise multicritério; e iii) priorização de tecnologias. Uma visão ampla do procedimento metodológico é apresentada na figura 4.

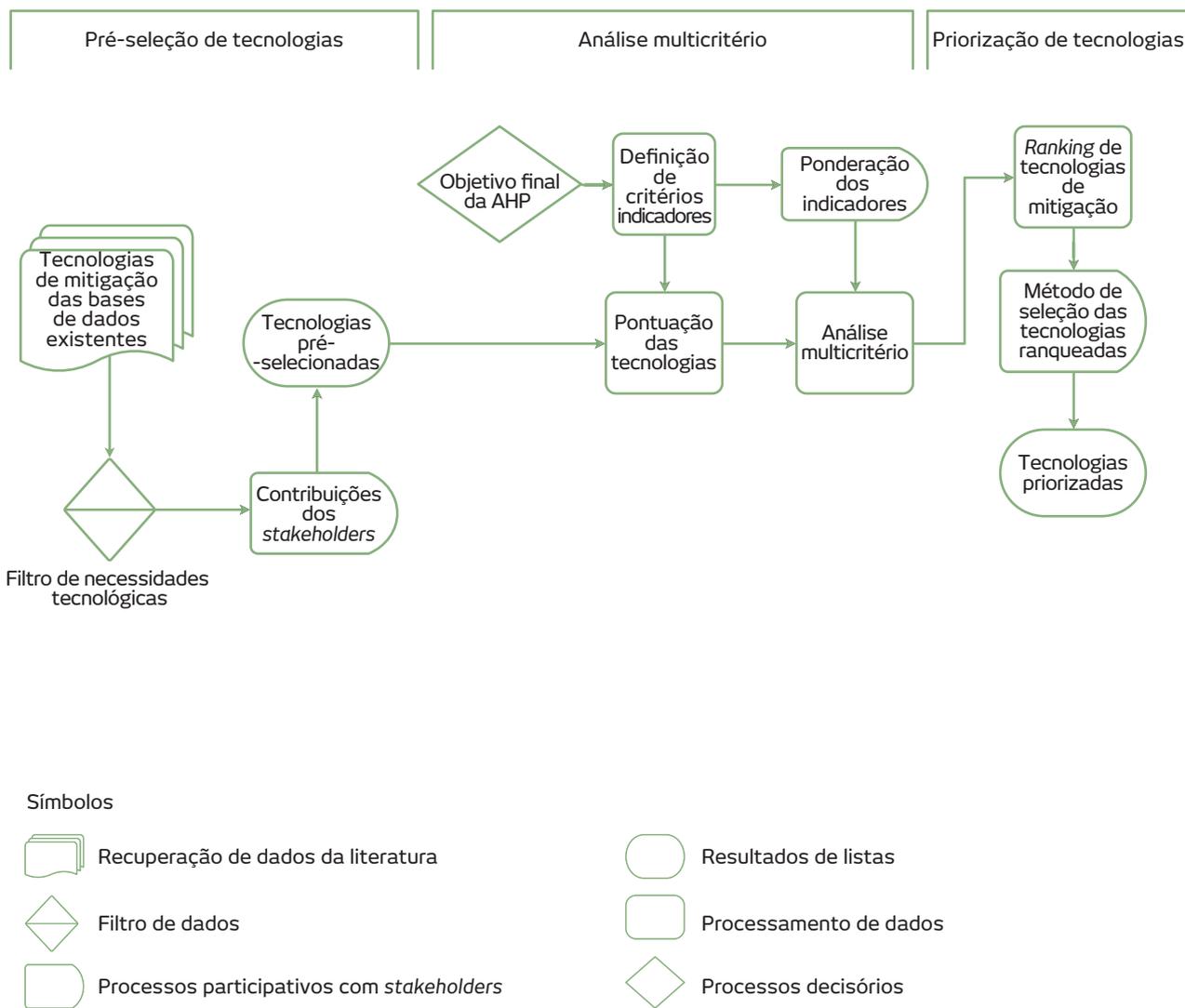


Figura 4 – Fluxograma das etapas de pré-seleção, pontuação, ranqueamento e priorização multicritério de setores e tecnologias mitigadoras de emissões do projeto TNA_BRAZIL

Elaboração do autor.

2.1. Pré-seleção de tecnologias

A primeira etapa do processo de TNA consiste no mapeamento de tecnologias mitigadoras de emissões de GEE. Nesse particular, partiu-se das publicações e da base de dados tecnológica oriunda do projeto “Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil – MOP” (BRASIL, 2017a-2017x; 2018a).

O projeto foi uma iniciativa do MCTI, que contou com recursos do *Global Environment Facility* (GEF) e a parceria do Pnuma, com a finalidade de auxiliar a tomada de decisão sobre ações que potencialmente reduzam emissões de GEE nos setores-chave da economia brasileira: indústria; energia; transportes; domicílios e serviços; Afolu; gestão de resíduos; e outras alternativas intersetoriais. Trata-se de um projeto inovador, pois foi a primeira vez que se realizou no Brasil uma análise integrada das diferentes opções de mitigação, considerando a não aditividade dessas opções com suas consequentes implicações econômicas e sociais.

Partindo de 450 opções de mitigação mapeadas no projeto MOP, inicialmente se procedeu à descrição do conjunto de tecnologias que compõem as medidas. Tendo em vista a abordagem tecnológica do projeto TNA_BRAZIL, fez-se necessário, primeiramente, discriminar o conjunto de técnicas e tecnologias contido em cada uma das opções de mitigação. Por exemplo, a opção com maior potencial de mitigação no setor de Afolu foi a redução do desmatamento (BRASIL, 2017w), que precisou ser traduzida em tecnologias aplicadas para diminuir o desmatamento, como é o caso do monitoramento por satélite, dos sistemas de certificação de cadeias livres de desmatamento, dos sistemas de validação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), entre outras.

Em seguida, fez-se necessário identificar, no conjunto de opções de baixo carbono, aquelas que possuem entres tecnológicos, os quais inibem a aplicação destas opções em todas as condições de extensão e alcance. Considerando o escopo do projeto TNA_BRAZIL, esta

etapa objetivou glosar aquelas tecnologias disponíveis comercialmente e que não são aplicadas setorialmente em função de barreiras não econômicas. Neste caso, basicamente foram desconsideradas medidas de eficiência energética nos setores energético, industrial e de transportes que não são amplamente difundidas em virtude de barreiras institucionais, culturais, políticas e de capacitação.

Mais do que isso, foram desconsideradas tecnologias oriundas do projeto MOP que estão amplamente difundidas no setor de Afolu, como é o caso dos sistemas de plantio direto e integrado, intensificação da pecuária e fertilização biológica de nitrogênio. Esta difusão decorre da adoção exitosa de inúmeros instrumentos de política pública, entre os quais podem ser destacados o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC); o Código Florestal; o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg); a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC); o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm); e o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) (BRASIL, 2008; 2012; 2017y; 2017z).

Diante disso, foram realizadas reuniões com membros do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com vistas ao mapeamento de tecnologias inovadoras para o setor de Afolu. Destas reuniões e do acesso a documentos fornecidos pela Embrapa, assim como do Plano de Ações em Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional (PACTI) e da ENCTI 2016-2022, resultou a seleção de 14 pacotes tecnológicos com necessidades de desenvolvimento e difusão no setor (BRASIL, 2016). A próxima seção do documento apresenta as tecnologias mitigadoras de emissões pré-selecionadas.

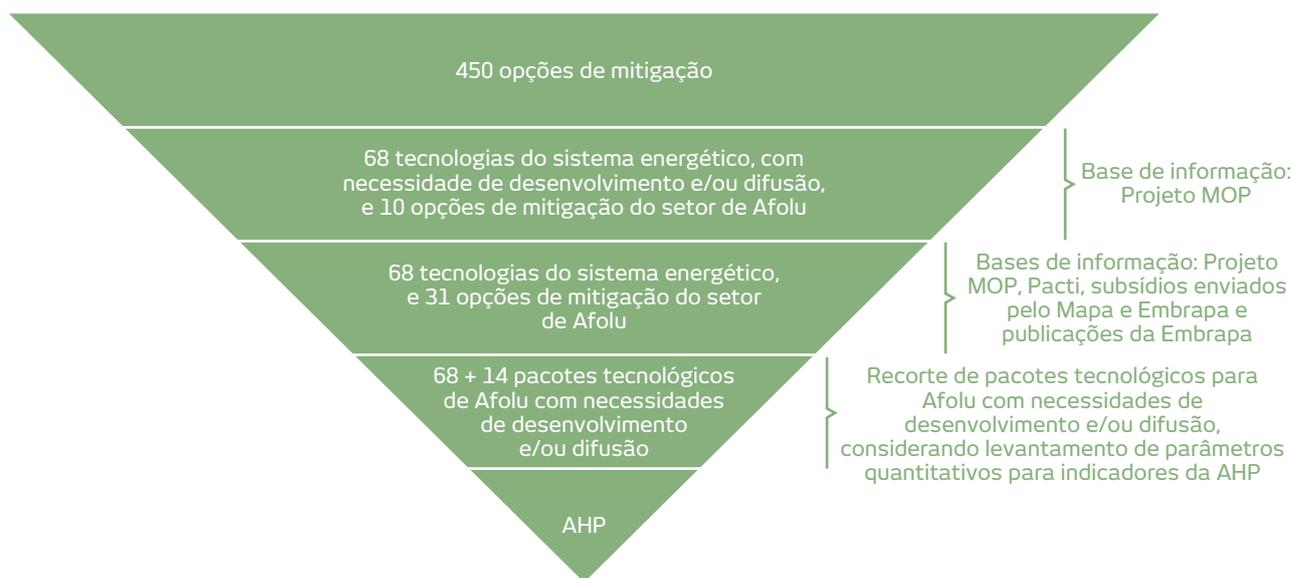


Figura 5 – Processo de pré-seleção das tecnologias mitigadoras de emissões
Elaboração

2.2. Análise multicritério

Para a priorização das tecnologias, é utilizada uma ferramenta de análise multicritério. Entre os métodos disponíveis para realizar esta análise, escolheu-se a AHP (HUGHES, 2009; SAATY; VARGAS, 2012; SILVA, 2018). Esse método consiste em criar uma estrutura hierárquica em que o nível superior é o objetivo final da análise, que é seguido por diferentes níveis de macrocritérios e respectivos indicadores. No nível inferior estão as alternativas a serem priorizadas.

Cada tomador de decisão envolvido no processo deve julgar a relevância relativa de cada critério no mesmo

nível, comparando-os em pares, indicador a indicador. Assim, o método AHP simplifica o estabelecimento de pesos para cada macrocritério e indicador de acordo com sua relevância para o objetivo final.

Paralelamente a esse processo de ponderação, cada tecnologia foi avaliada pelos autores-especialistas deste documento quanto ao seu desempenho em cada um dos indicadores estabelecidos. Com os pesos dos macrocritérios e as pontuações dos indicadores, é calculado um valor final para cada tecnologia, permitindo o ranqueamento das tecnologias mitigadoras de emissões pré-selecionadas.

2.2.1. Definição dos critérios e dos indicadores

A primeira etapa metodológica na análise multicritério consiste em identificar o objetivo final, os macrocritérios e os indicadores, organizando-os em níveis. Neste estudo, o objetivo final é selecionar tecnologias mitigadoras de emissões de GEE maximizando cobenefícios associa-

dos. Para essa análise, a ferramenta AHP foi estruturada em dois níveis para atingir o objetivo final, denominados macrocritérios e indicadores. Quatro macrocritérios e 15 indicadores foram estabelecidos. A estrutura AHP com todos os macrocritérios e indicadores é ilustrada na figura 6.

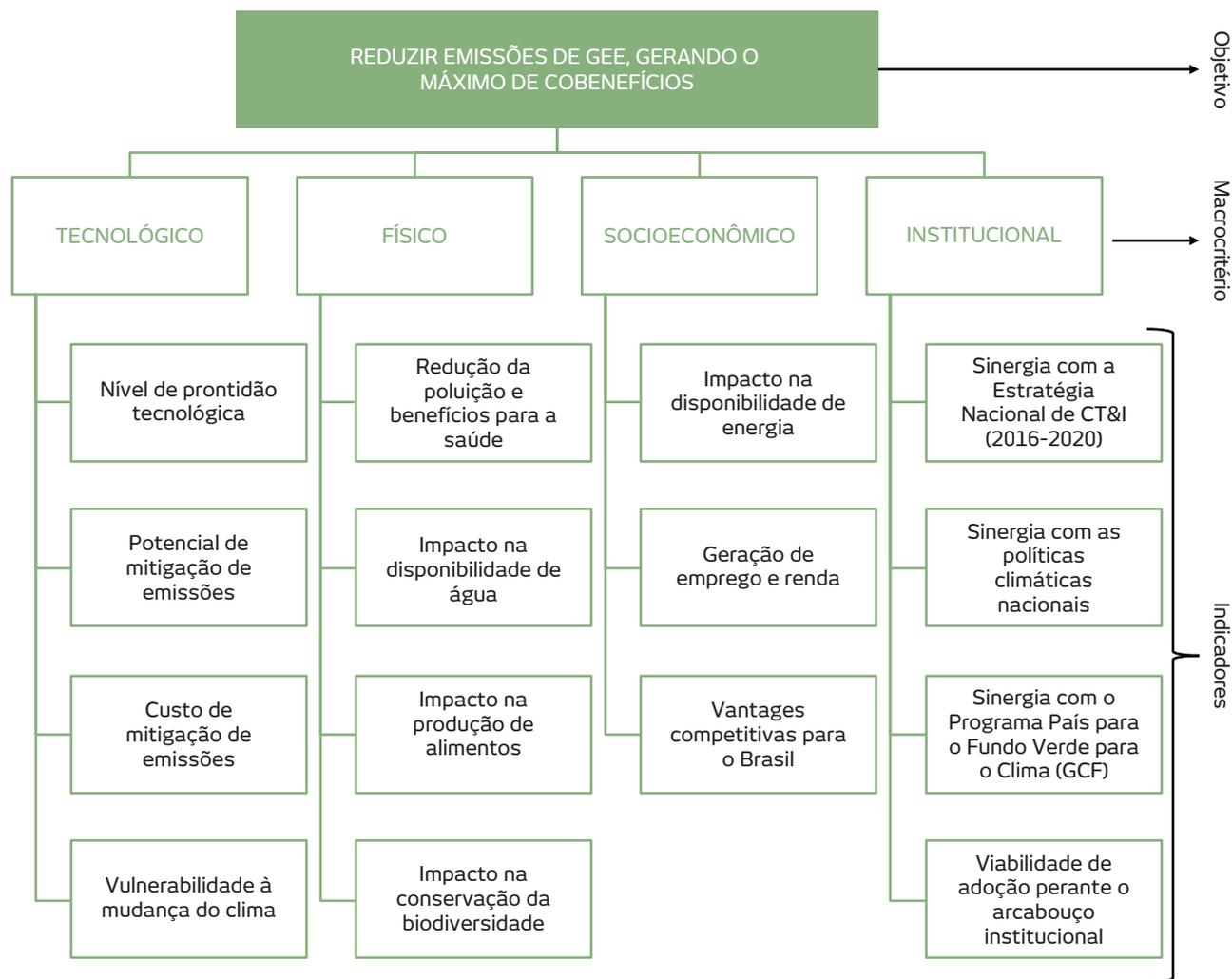


Figura 6 – Estrutura da ferramenta AHP aplicada para pontuação e ranqueamento de tecnologias mitigadoras de emissões
Elaboração do autor.

O quadro 1 contém a descrição dos macrocritérios e dos indicadores selecionados. Como pode ser observado na descrição dos indicadores, enquanto alguns deles se referem às características das tecnologias (por exemplo, nível de prontidão tecnológica), outros representam as circunstâncias nacionais, como as vantagens competitivas e o arcabouço institucional do país para implementar e usar uma tecnologia especí-

fica. Além disso, sempre que pertinente, os indicadores estão vinculados a um ou mais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (UN, 2020), de forma que o processo de priorização de tecnologia possa promover um ambiente de desenvolvimento sustentável no país alinhado a uma visão da agenda global.

Quadro 1 – Descrição dos macrocritérios e dos indicadores considerados na ferramenta AHP

MACRO-CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	INDICADORES	DESCRIÇÃO
Tecnológico	Contém indicadores com uma perspectiva técnica, avaliando características de nível de engenharia da tecnologia	Nível de prontidão tecnológica (DT)	Representa o nível de maturidade das tecnologias (TRL) globalmente
		Potencial de mitigação de emissões (PM)	Potencial de redução de emissões associado à adoção da tecnologia
		Custo de mitigação de emissões (CM)	Custo da tecnologia por unidade de CO ₂ mitigada (US\$/tco ₂)
		Vulnerabilidade à mudança do clima (VC)	Reflete como a tecnologia é exposta aos efeitos da mudança do clima (por exemplo, aumento da temperatura média, aumento do nível do mar, variabilidade dos recursos renováveis e aumento do risco de eventos climáticos extremos) em comparação com as práticas atuais
Físico	Consiste em indicadores que refletem os impactos da tecnologia no ambiente físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde / ODS 3 (PS)	Impactos da tecnologia na geração de poluentes em toda a cadeia produtiva
		Impacto na disponibilidade de água / ODS 6 (DA)	Impactos da tecnologia na disponibilidade de recursos hídricos para a sociedade
		Impacto na produção de alimentos / ODS 2 (PA)	Impactos da tecnologia na agricultura, no uso da terra e na segurança alimentar
		Impacto na biodiversidade / ODS 15 (BD)	Efeitos da tecnologia sobre a conservação da biodiversidade
Socioeconômico	Incorpora indicadores que abordam os efeitos da adoção de tecnologia nas condições sociais e econômicas	Impacto na disponibilidade de energia / ODS 7 (EN)	Impacto da tecnologia na quantidade de energia disponível para a sociedade, na eficiência no uso de recursos energéticos, na promoção de energias renováveis, no acesso à energia e na modernização da infraestrutura energética
		Geração de emprego e renda / ODS 8 e 10 (ER)	Potenciais impactos da tecnologia na redução das desigualdades sociais no Brasil, com foco na geração de empregos e renda
		Vantagens competitivas para o Brasil (VC)	Avaliação de como a tecnologia pode ser beneficiada dadas as vantagens dos fatores de produção e da competência nacional em termos científicos e tecnológicos
Institucional	Incorpora indicadores que associam o grau de compatibilidade das tecnologias às características institucionais relevantes	Sinergia com a ENCTI (CT)	Enquadramento da tecnologia no âmbito da ENCTI 2016-2022
		Sinergia com as políticas climáticas nacionais (PC)	Alinhamento da tecnologia às políticas climáticas nacionais*
		Sinergia com o Programa País para o GCF (GC)	Alinhamento da tecnologia ao Programa País para o GCF
		Viabilidade de adoção perante o arcabouço institucional (AI)	Viabilidade de implantação de tecnologia perante o atual arcabouço institucional, considerando a existência de barreiras (econômicas, de mercado, institucionais, culturais) e falhas de mercado

Elaboração do autor.

Nota: * Incluindo a NDC do Brasil ao Acordo de Paris (BRASIL, 2015), o RenovaBio (BRASIL, 2019b), o Plano ABC (BRASIL, 2012) e a PNMC (BRASIL, 2008).

2.2.2. Pontuação das tecnologias

Após a definição dos macrocritérios e dos indicadores para o processo de avaliação multicritério, as tecnologias selecionadas foram avaliadas de acordo com o seu desempenho em cada indicador. Esta etapa foi conduzida pela equipe técnica do projeto TNA_BRAZIL,

utilizando a revisão da literatura² (e, se e quando possível, as avaliações quantitativas) como ferramenta para a concepção de pontuações de 1 a 5, conforme apresentado no quadro 2.

Quadro 2 – Escala de pontuação conforme a classificação do desempenho de uma tecnologia em determinado critério

DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
Muito ruim	1
Ruim	2
Neutro/mediano	3
Bom	4
Muito bom	5

Elaboração do autor.

Para o nível de prontidão tecnológica, o potencial e os custos de mitigação de emissões, uma abordagem semi-quantitativa foi adotada. Assim, os valores desses indicadores foram normalizados para se adequarem à escala de pontuação apresentada quadro 2.

A prontidão das tecnologias foi avaliada pelo nível de maturidade tecnológica (TRL, do inglês *technology*

readiness level), desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (Nasa) e pelo *U.S. Department of Defense* (DoD) (UNITED STATES, 2011). O índice TRL é escalado de 1 a 9, sendo 1 o nível de prontidão de tecnologia mais baixo e 9 o mais alto. Para os fins deste estudo, o indicador segue o processo de normalização descrito no quadro 3.

Quadro 3 – Escala de pontuação dos níveis de prontidão tecnológica

NÍVEL	DESCRIÇÃO	DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
TRL 1	Pesquisa em nível inicial, com princípios básicos observados	Muito ruim	1
TRL 2	Formulação do conceito tecnológico		
TRL 3	Prova de conceito estabelecida		
TRL 4	Protótipo de teste em laboratório elaborado	Ruim	2
TRL 5	Teste/validação em laboratório do protótipo integrado		
TRL 6	Sistema piloto verificado	Neutro	3
TRL 7	Sistema piloto integrado demonstrado		
TRL 8	Sistema comercial disponibilizado	Bom	4
TRL 9	Sistema aplicado comercialmente em toda extensão e alcance	Muito bom	5

Elaboração do autor.

² A lista de referências encontra-se disponível neste [link](#).

Para o indicador PM, a normalização dos valores segue um valor limite com base no perfil de emissões do país. O quadro 4 apresenta os intervalos para o potencial de mitigação de emissões usado para definir o valor do indicador para as tecnologias neste estudo. Os valores

absolutos do potencial de mitigação foram retirados dos resultados do projeto “Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil – MOP” (BRASIL, 2017x).

Quadro 4 – Escala de pontuação do indicador de potencial de mitigação de emissões

FAIXA DE POTENCIAL DE MITIGAÇÃO	PARCELA DO VALOR LIMITE*	DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
< 5.250 Gg CO ₂ e	< 2,5%	Muito ruim	1
5.250-10.500 Gg CO ₂ e	2,5%-5%	Ruim	2
10.500-15.750 Gg CO ₂ e	5%-7,5%	Neutro	3
15.750-21.000 Gg CO ₂ e	7,5%-10%	Bom	4
> 21.000 Gg CO ₂ e	> 10%	Muito bom	5

Elaboração do autor.

Nota: * O valor limite, neste estudo, é a emissão total do maior setor emissor contabilizada no último Inventário Brasileiro de Emissões, sendo 2016 o ano de referência (BRASIL, 2021a).

Para o indicador CM, as faixas de custo foram alinhadas com os cenários atuais de precificação de carbono para o curto prazo (até 2030), seguindo o processo

de normalização apresentado no quadro 5. Os custos de mitigação também foram retirados do projeto MOP (BRASIL, 2017x).

Quadro 5 – Escala de pontuação do indicador de custos de mitigação de emissões

FAIXA DE CUSTO DE MITIGAÇÃO (US\$/tCO ₂)	JUSTIFICATIVA	DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
> 50	Custo alto	Muito ruim	1
25-50	Custo médio-alto	Ruim	2
10-25	Custo médio do mercado europeu de carbono	Neutro	3
0-10	Custo baixo	Bom	4
< 0	Custo negativo (<i>non-regret</i>)	Muito bom	5

Elaboração do autor.

Os demais indicadores seguem uma abordagem qualitativa e são avaliados com base nos desempenhos re-

lativos. A pontuação com as justificativas por tecnologias e indicadores pode ser visualizada no Apêndice III.

2.2.3. Método de ponderação

A próxima fase do método multicritério consiste em comparar os critérios dentro de cada nível hierárquico, ou seja, segundo os macrocritérios e os indicadores. A comparação entre pares de critérios é conduzida pelas partes interessadas usando uma escala de importância. Assim, neste estudo, os atores-chave listados na

seção 1 foram convidados a responder a um formulário eletrônico com a seguinte pergunta-base: "Em sua opinião, para o objetivo de reduzir emissões com a geração do máximo de cobenefícios, o 'Item A', em relação aos demais itens listados, é":

Quadro 6 – Estrutura geral das perguntas do questionário aplicado aos *stakeholders*

ITENS	MUITO MENOS IMPORTANTE	MENOS IMPORTANTE	IGUALMENTE IMPORTANTE	MAIS IMPORTANTE	MUITO MAIS IMPORTANTE
"Item B"	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
"Item C"	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
"Item D"	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Elaboração do autor.

As perguntas foram feitas em cinco rodadas: quatro para avaliação dos indicadores quanto ao respectivo macrocritério (tecnológico, físico, socioeconômico e institucional) e uma para avaliação dos macrocritérios quanto ao objetivo final. Em seguida, as respostas das partes interessadas individuais foram compiladas em cinco matrizes comparativas, uma para cada rodada. Posteriormente, as diversas matrizes individuais foram agregadas de acordo com seus valores médios, gerando as cinco matrizes de comparação finais respectivas a cada rodada.

Na matriz de comparação, as linhas e as colunas representam os critérios analisados, e as células de interseção (a_{ij}) são preenchidas com o valor de importância atribuído ao critério da linha em relação ao critério da coluna, de 1 a 5. Assim, as células diagonais recebem o valor de escala neutra (uma vez que um critério é tão importante quanto ele mesmo), e as células restantes recebem o valor recíproco das previamente preenchidas ($a_{ij} = 6 - a_{ji}$), conforme ilustrado no quadro 7.

Quadro 7 – Matriz de julgamento de pares

	C_1	C_2	...	C_n
C_1	3	a_{12}	...	a_{1n}
C_2	$6 - a_{12}$	3	...	a_{2n}
...	...	...	3	...
C_n	$6 - a_{1n}$	$6 - a_{2n}$	...	3

Elaboração do autor.

O próximo passo da metodologia consiste na obtenção do vetor de prioridade, ou vetor de pesos relativos, que indica a importância relativa dos indicadores (ou macrocritérios) para o respectivo macrocritério (ou para o objetivo final). Para tanto, uma forma simples, como

mostra o quadro 8, é primeiro normalizar as células da matriz, dividindo cada uma pela soma de sua respectiva coluna; depois, deve-se somar cada linha da matriz normalizada; e, finalmente, dividir a matriz de uma coluna resultante pelo número de critérios.

Quadro 8 – Passos para o cálculo do vetor de prioridades

PASSO 1				PASSO 2				PASSO 3	
	C_1	...	C_n		C_1	...	C_n		
C_1	3	...	a_{1n}	C_1	$C'_{11} = \frac{C_{11}}{\sum_{i=1}^n C_{i1}}$	...	$C'_{1n} = \frac{C_{1n}}{\sum_{i=1}^n C_{in}}$	$\sum_{j=1}^n C'_{1j}$	$C''_{11} = \frac{\sum_{j=1}^n C'_{1j}}{n}$
...	...	3	...	...	...	...	...	...	...
C_n	$6 - a_{1n}$	...	3	C_n	$C'_{n1} = \frac{C_{n1}}{\sum_{i=1}^n C_{i1}}$	...	$C'_{nn} = \frac{C_{nn}}{\sum_{i=1}^n C_{in}}$	$\sum_{j=1}^n C'_{nj}$	$C''_{n1} = \frac{\sum_{j=1}^n C'_{nj}}{n}$
	$\sum_{i=1}^n C_{i1}$	...	$\sum_{i=1}^n C_{in}$						

Elaboração do autor.

Por último, para avaliar a consistência das suposições e dos julgamentos referentes à comparação dos critérios, é preciso determinar a razão de consistência (RC). Se o seu valor for maior que 0,1, a matriz é considerada inconsistente e deve ser ajustada. A RC é a razão entre o índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR), como mostra a equação (1).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (1)$$

O IC pode ser calculado por (2), onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o autovalor máximo da matriz de julgamento e n é o número de critérios. O $\lambda_{\text{máx}}$ pode ser obtido por meio dos seguintes passos:

- Multiplicar a matriz de julgamento pelo vetor de prioridades;
- Dividir o primeiro componente do vetor resultante pelo primeiro componente do vetor de prioridades, e assim por diante, até obter um novo vetor;

- Somar os componentes deste novo vetor e dividir pelo número de componentes. O valor final obtido aproxima-se do autovalor máximo.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Já o IR é dependente do número de critérios de acordo com uma escala (SAATY; VARGAS, 2012).

Como citado anteriormente, as contribuições dos atores-chave para o processo de ponderação foram coletadas em cinco *workshops*. Todos os participantes foram convidados a registrar suas contribuições em meio eletrônico, por meio de formulário elaborado na plataforma Google Forms. As respostas foram reunidas em uma planilha com o conjunto de fórmulas necessárias para calcular o peso de cada indicador e macrocritério.

2.3. Ranqueamento e priorização de tecnologias

A partir da aplicação da metodologia para obter os pesos dos macrocritérios e dos indicadores, assim como a pontuação das tecnologias em cada indicador, um valor final para as opções tecnológicas é calculado pela equação (3), onde "FV_t" é o valor final da tecnologia "t"; "GR_{t,i}" é o grau de desempenho da tecnologia "t" no indicador "i" (atribuído pela equipe técnica); "IN_i" é o peso do indicador "i"; e "MC_i" é o peso do macrocritério referente ao indicador "i".

$$FV_t = \sum_{i=1}^{15} (GR_{t,i} * IN_i * MC_i) \quad (3)$$

Após o cálculo do valor final para cada tecnologia, finalmente é possível estabelecer um *ranking* de tecnologias. Essa classificação deve refletir como as tecnologias na lista contribuem para o objetivo final da avaliação multicritério.

Em seguida, foi realizada uma discussão com atores do CTC para determinar quais tecnologias deveriam ser priorizadas para a análise de cadeias de valor, cobenefícios, barreiras³ e elaboração dos PATs. Foi determinado, pela DNP, que poderiam ser priorizados 12 pacotes tecnológicos em face ao cronograma físico-financeiro do projeto TNA_BRAZIL.

Quatro métodos foram propostos para selecionar as tecnologias prioritárias ranqueadas:

- Seleção ordinal (SOR) – seleção baseada simplesmente na posição da tecnologia no *ranking*, independentemente do setor;
- Seleção por equidade setorial (SES) – seleção baseada em um número igual de tecnologias priorizadas por setor, seguindo a classificação do *ranking*. Ou seja, duas tecnologias para cada setor da economia (Afolu, indústria, energia, transportes, resíduos e edificações);
- Seleção por representatividade das emissões setoriais (SRE) – o número de tecnologias escolhidas para cada setor deve ser proporcional à sua participação nas emissões do país (BRASIL, 2021a), respeitando o posicionamento no *ranking*. Neste caso, devem ser escolhidas seis tecnologias para o setor de Afolu, duas para o setor de transporte, duas para o setor industrial, e uma cada nos setores energético e de resíduos;
- Seleção por representatividade subsetorial das emissões (SSE) – o número de tecnologias selecionadas por setor deve ser semelhante ao método SER, mas respeitando a seleção de, pelo menos, uma tecnologia para cada subsetor da economia. Neste caso, a configuração deve ser de cinco tecnologias para o setor de Afolu, duas para o setor de transportes, duas para o setor industrial, e uma cada nos setores energético, de resíduos e de edificações.

³ Optou-se por mapear barreiras à adoção de todas as tecnologias prioritárias selecionadas no âmbito do projeto, conforme Apêndice IV.

3.

Tecnologias Mitigadoras de **Emissões** Pré-Selecionadas



3. TECNOLOGIAS MITIGADORAS DE EMISSÕES PRÉ-SELECIONADAS

Em face aos procedimentos listados na subseção 2.1, chegou-se ao conjunto de 82 pacotes tecnológicos prioritários, descritos a seguir, para o Brasil alavancar ao desenvolvimento sustentável de baixo carbono até

2030. Estes constituem a base de informações que serão pontuadas, ranqueadas e priorizadas, por meio de metodologia multicritério (AHP), ao final deste documento de TNA.

3.1. Tecnologias pré-selecionadas no setor industrial

No que se refere ao setor industrial, foram discriminadas tecnologias aplicáveis aos subsetores de cimento, químico e de siderurgia, assim como soluções setorialmente transversais de baixo carbono.

O setor de produção de cimento é um ramo industrial que apresenta elevadas emissões, tanto por ser energo-intensivo quanto por gerar emissões na etapa termoquímica de calcinação do carbonato de cálcio do processo tradicional de produção do clínquer (LORD; JONES; SHARMA, 2017). Assim, medidas de mitigação endereçadas ao setor possuem um potencial impacto significativo no contexto da redução de emissões industriais.

O setor químico, ao contrário dos demais setores industriais, é marcado por uma grande diversidade de insumos, processos e produtos. Assim, não se pode associar o setor a um único processo produtivo ou adotar valores únicos como representativos. Visando priorizar os setores mais energo-intensivos, as tecnologias mapeadas são aplicáveis a processos produtivos de três grupos, nomeadamente produtos petroquímicos, fertilizantes e cloro-álcalis.

A siderurgia é um setor responsável por um elevado quantitativo de emissões de GEE, tanto pelo alto consumo de energia quanto pelas emissões decorrentes das reações químicas do processo em si. Foram consideradas duas classes de rotas siderúrgicas, baseando-se no vetor energético utilizado na etapa de fabricação do aço. A primeira classe é a das rotas que utilizam conversores a oxigênio, e a outra é a das rotas que produzem aço com fornos elétricos a arco. Enquanto a rota que usa conversores a oxigênio é utilizada principalmente para produzir aço a partir do minério de ferro, o uso do forno elétrico a arco é mais empregado para reciclagem de sucatas. Assim, as tecnologias que carecem de desenvolvimento e/ou difusão são aplicáveis a estas rotas siderúrgicas.

Finalmente, são consideradas tecnologias de natureza transversal a todos os subsetores industriais, que, apesar de possuírem menor impacto em termos de redução de emissões individualmente, podem ter um grande potencial de mitigação se observadas de maneira agregada. As tecnologias transversais, seguindo o mesmo escopo de aplicação adotado nos demais subsetores, classificam-se em eficiência da produção; troca de combustíveis; e transporte e armazenamento de carbono.

Quadro 9 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor industrial

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
LEITO FLUIDIZADO AVANÇADO	
Industrial (Cimento)	A tecnologia consiste no acoplamento de um forno de calcinação de leito fluidizado a um resfriador em dois estágios. No forno, a matéria-prima é reduzida a um tamanho específico de partícula, sendo, posteriormente, sinterizada a uma elevada temperatura. O resfriamento dá-se em um estágio rápido e o outro lento, de forma a maximizar a eficiência na recuperação de calor e garantir a qualidade do produto.
CIMENTO GEOPOLIMÉRICO	
Industrial (Cimento)	Cimentos geopoliméricos são produzidos pela reação entre um material aluminossilicato sólido e uma solução alcalina, conhecida como ativador alcalino. As fontes predominantes para produção de cimento geopolimérico são cinzas volantes de carvão e escória granulada de alto-forno. Reduz emissões com relação à produção de cimento Portland porque não há necessidade de calcinação do calcário (elimina as emissões de processo), e a produção é realizada a baixas temperaturas (diminui a demanda por energia térmica).
MATERIAIS INOVADORES PARA CIMENTO	
Industrial (Cimento)	A tecnologia busca desenvolver cimentos com menor pegada de carbono por meio da substituição ou da redução do teor de clínquer na composição do cimento, com o emprego de matérias-primas alternativas, como escória granulada de alto-forno, cinzas volantes de carvão mineral, filler calcário e argilas calcinadas.
PLANTAS HÍBRIDAS SOLARES	
Industrial (Cimento)	Tal sistema objetiva substituir parcialmente a demanda térmica de uma planta de produção de cimento por energia solar concentrada, por meio do uso de espelhos esféricos voltados para o interior do forno de calcinação. Portanto, a adoção dessa tecnologia é capaz de mitigar as emissões referentes à parcela de combustível fóssil substituída para gerar a energia térmica; porém, não altera as emissões de processo.
CAPTURA DE CO₂	
Industrial (Cimento)	Consiste na captura de CO ₂ de fluxos de gases de combustão usando o processo de absorção química com aminas. É uma tecnologia madura e altamente difundida na indústria química para separação de dióxido de carbono de correntes gasosas, que pode ser aplicada na produção de cimento. O CO ₂ é absorvido da corrente gasosa efluente por uma solução de amina, geralmente monoetilamina (MEA), a cerca de 50°C. Em seguida, é separado da solução, seco, comprimido e enviado para seu destino de armazenamento.
SISTEMAS DE ENRIQUECIMENTO COM OXIGÊNIO	
Industrial (Cimento)	Sistemas que utilizam oxigênio concentrado como oxidante para queima eficiente e formação de fluxos de gases de combustão com alta concentração de CO ₂ , facilitando o processo de captura. Como o nitrogênio é separado do oxigênio antes da combustão e a queima ocorre com elevada eficiência, a corrente efluente possui dióxido de carbono com elevada pureza e o processo de captura é facilitado, podendo a taxa de captura chegar a, aproximadamente, 100% do CO ₂ no efluente gasoso.

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
CHEMICAL LOOPING	
Industrial (Cimento)	A tecnologia visa separar o CO ₂ de uma corrente gasosa com base no uso de um óxido metálico sofrendo sucessivas reações de carbonatação e calcinação. Como o processo de fabricação do cimento já inclui uma etapa de calcinação do carbonato de cálcio, o sistema de <i>chemical looping</i> é bastante adequado ao processo, sendo, por esse motivo, uma das tecnologias mais promissoras para captura de CO ₂ na produção de cimento.
EMPREGO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS	
Industrial (Químico)	Processos de separação de fluidos químicos realizados por uma fina barreira funcional nanoestruturada, que controla a transferência de massa entre duas fases devido a forças externas, às propriedades do meio e às características intrínsecas do material. O uso de membranas para separação apresenta-se como um potencial substituinte às técnicas energia-intensivas aplicadas tradicionalmente, como a extração líquido-líquido. As membranas também podem reduzir a demanda energética do processo pela integração com outros processos de separação convencionais, como a destilação.
CRAQUEAMENTO CATALÍTICO DA NAFTA	
Industrial (Químico)	O craqueamento a vapor da nafta é, atualmente, a principal rota utilizada no mundo para produção de eteno e propeno, sendo altamente demandante de energia. A substituição desta rota pelo craqueamento catalítico pode ter um efeito positivo na redução do consumo energético do processo, uma vez que opera em condições mais brandas de temperatura e pressão.
USO DE BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE OLEFINAS	
Industrial (Químico)	Consiste no uso de metanol e etanol obtidos de matérias-primas lignocelulósicas para a produção de olefinas. O metanol lignocelulósico é produzido do gás de síntese gerado no processo de gasificação da biomassa. Outra forma de obtenção de olefinas, especificamente eteno, é pela desidratação catalítica do etanol, sendo este produzido previamente pela fermentação de uma biomassa rica em açúcar ou amido.
USO DE H₂ OBTIDO A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE AMÔNIA E METANOL	
Industrial (Químico)	Aproveitamento da energia solar fotovoltaica ou eólica para produção de hidrogênio por eletrólise da água, substituindo as etapas de maior consumo de energia na produção de precursores de amônia e metanol.
CAPTURE DE CARBONO NA PRODUÇÃO DE AMÔNIA	
Industrial (Químico)	A produção de amônia constitui-se principal processo para aplicação da captura de carbono na indústria química. Este processo é facilitado porque já existe uma necessidade de separação do CO ₂ da amônia na rota de produção, sendo parte do dióxido de carbono obtido aproveitado para uso na produção de ureia e o restante descartado para a atmosfera. Assim, o esforço marginal para armazenamento do dióxido de carbono já capturado envolve apenas uma purificação maior do gás e ajuste de sua pressão ao valor demandado pelo sistema de transporte a jusante.

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
REFORMA DOS GASES DE COQUERIA	
Industrial (Siderurgia)	Essa tecnologia baseia-se no aproveitamento dos hidrocarbonetos efluentes da coqueria para produzir CO e H ₂ via reforma a vapor. Assim, é possível elevar o teor de hidrogênio no alto-forno e, com isso, diminuir a demanda de coque para redução do minério de ferro. Consequentemente, há uma redução nas emissões de CO ₂ no processo.
RECUPERAÇÃO DE CALOR RESIDUAL DO FORNO ELÉTRICO A ARCO COM O USO DE CICLO RANKINE ORGÂNICO	
Industrial (Siderurgia)	Trata-se do aproveitamento dos gases exaustos do forno elétrico a arco para geração de energia por meio da aplicação de um Ciclo Rankine Orgânico. É um processo de recuperação do calor residual do forno elétrico a arco.
APLICAÇÃO DO PROCESSO SIDERWIN	
Industrial (Siderurgia)	O processo Siderwin consiste na eletrólise de óxido de ferro para a produção de aço. Portanto, seu potencial mitigador está intrinsecamente associado ao fator de emissão da eletricidade utilizada.
APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DRYING, PYROLYSIS AND COOLING (DPC) NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL	
Industrial (Siderurgia)	A tecnologia DPC ocorre em três estágios: i) torrefação da madeira, visando à redução de seu teor de umidade para níveis inferiores a 10% e à liberação de compostos voláteis contidos na estrutura da biomassa; ii) reação de pirólise no material, transformando-o em carvão vegetal; e iii) resfriamento do material. A demanda energética para a conversão da madeira em carvão vegetal é suprida pela queima dos gases gerados no próprio processo. A tecnologia permite alcançar elevados níveis de rendimento em comparação ao processo tradicional, além de melhores qualidade e homogeneidade do carvão produzido.
APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA ONDATEC NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL	
Industrial (Siderurgia)	Baseada no aquecimento por micro-ondas, a tecnologia Ondatec compreende um forno horizontal metálico equipado com uma esteira rolante, sobre a qual a madeira passa continuamente, recebendo energia das micro-ondas para sua pirólise. Um moderno sistema de controle monitora a qualidade do produto, variando a velocidade da esteira e a potência recebida pela madeira de acordo com os parâmetros químicos desejados para o produto final.
COLETA E REFORMA DE GÁS DE ALTO-FORNO PELO PROCESSO IGAR	
Industrial (Siderurgia)	Uso de uma tocha de plasma e um reator para aquecimento e reforma dos gases de topo do alto-forno, produzindo gás hidrogênio. Sua reinjeção no alto-forno permite uma redução no consumo de coque no processo.
APLICAÇÃO DO PROCESSO HISARNA NA ROTA DE FUSÃO REDUTORA	
Industrial (Siderurgia)	Processo de redução da fusão baseado em uma rota que combina uma câmara de fusão e um ciclone, que não demanda o uso de coque e sinter. Como opera com oxigênio puro, a corrente de gases de saída contém elevada concentração de CO ₂ , em teor quase suficiente para ser enviado diretamente ao armazenamento.

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
INDÚSTRIA 4.0	
Indústria (Transversal)	A indústria 4.0 caracteriza-se pelo desenvolvimento e pela aplicação de novas tecnologias que permitem a fusão do mundo físico com o digital para integrar e eficientizar as cadeias produtivas, reduzindo, assim, o consumo energético. Estas tecnologias podem incluir internet das coisas (IoT, do inglês <i>internet of things</i>), <i>big data</i> , inteligência artificial, impressão 3D e computação em nuvem.
USO DE FONTES RENOVÁVEIS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS	
Indústria (Transversal)	A troca de combustíveis fósseis por renováveis alternativas nos processos industriais configura relevante medida de mitigação de emissões de GEE. Para a produção de energia térmica, pode-se adotar o uso de biomassa ou aquecimento solar. Para o suprimento elétrico, pode-se empregar a geração de energia solar fotovoltaica, eólica ou termelétrica a biomassa. Outras opções são a utilização de biogás como combustível e a instalação de aquecedores solares para o aquecimento de água.
TRANSPORTE DE CO₂	
Indústria (Transversal)	Após capturado, pode-se realizar o transporte do dióxido para armazenamento geológico ou uso comercial pelos modais dutoviário, hidroviário e rodoviário. Para transporte por dutos, o CO ₂ deve ser desidratado e, após, comprimido a altas pressões até atingir uma fase de elevada densidade, denominada estado supercrítico. Uma alternativa aos dutos para o transporte continental é o transporte rodoviário, no qual o dióxido de carbono é transportado no estado liquefeito por caminhões. Finalmente, pode ocorrer o transporte por navios, no qual o CO ₂ também é transportado no estado liquefeito.
ARMAZENAMENTO DE CO₂	
Indústria (Transversal)	Consiste no armazenamento do CO ₂ em reservatórios de petróleo e gás com baixas taxas de recuperação, camadas de carvão, aquíferos salinos profundos e cavernas de sal, nos quais o gás é estocado em formato de carbonatos pelo processo de carbonatação mineral. Além desses reservatórios geológicos, o dióxido de carbono também pode ser injetado diretamente nos oceanos.

Elaboração do autor.

3.2. Tecnologias pré-selecionadas no setor de energia

O setor de energia foi dividido nos seguintes subse- tores para avaliação de tecnologias mitigadoras de emissão com barreiras à difusão e ao desenvolvi- mento: i) exploração e produção (E&P) de óleo e gás natural; ii) refino de petróleo; iii) geração, transmissão e distribuição de eletricidade; iv) produção de biocom- bustíveis avançados.

O segmento E&P de óleo e gás natural compreende as etapas de prospecção, perfuração, avaliação e pro- dução. A etapa de produção, por sua vez, envolve um conjunto de operações coordenadas para a extração de óleo e/ou gás natural. As instalações marítimas para a produção de óleo e gás natural compreendem uma série de processos físicos e químicos voltados ao pro- cessamento tanto do óleo quanto do gás natural (as- sociado ou não), por meio da separação das frações líquidas e gasosas, e suas respectivas especificações. As emissões de GEE provenientes do segmento de E&P de óleo e gás estão associadas tanto ao autoconsumo (voltado, principalmente, para a geração de eletricida- de) quanto às emissões fugitivas, de *venting* e de *flare*. Logo, as tecnologias mapeadas buscam mitigar emis- sões nestas fontes.

O segmento de refino de petróleo compreende as ati- vidades de separação e conversão do óleo bruto, por meio de processos físicos e químicos, em frações de derivados e produtos finais de maior valor agregado, que incluem: combustíveis (óleo *diesel*, gasolina, quero- sene, entre outros), produtos acabados não combus- tíveis (lubrificantes, solventes, graxas, entre outros) e intermediários da indústria química (nafta, etano, pro- pano, entre outros). O refino constitui indústria energe- ticamente intensiva, e as emissões de GEE relativas a esse segmento estão majoritariamente relacionadas ao consumo de combustíveis fósseis. Contudo, as tec- nologias redutoras de emissões, neste caso, já são maduras e relacionadas frequentemente a medidas de eficiência energética, que não apresentam bar- reiras de desenvolvimento e/ou difusão tecnológica.

Uma tecnologia promissora, em face do grande poten- cial de mitigação de emissões para unidades de cra- queamento catalítico (FCCs, do inglês *fluid catalytic cracking*) e de geração de hidrogênio (UGH), é a captura de carbono, que será citada a seguir.

No caso do setor elétrico, foram identificadas tecnolo- gias relevantes para aproveitamentos não convencio- nais de hidreletricidade, geração eólica *offshore*, gera- ção termelétrica a partir de fontes renováveis, captura de CO₂ em termelétricas baseadas em fontes fósseis e aproveitamentos não convencionais de energia so- lar fotovoltaica.

Finalmente, tratando este estudo de TNA, foram in- cluídas tecnologias inovadoras para a produção de biocombustíveis avançados, os quais foram divididos em duas classes: biocombustíveis avançados leves e biocombustíveis avançados médios. Por biocombus- tíveis avançados leves entendem-se os biocombustíveis que atendem à frota de veículos leves. A principal rota tecnológica para a produção destes biocombustíveis é a conversão de material lignocelulósico em etanol, por meio do processo de hidrólise. O etanol produzido por esta rota é denominado etanol de segunda geração. Já os biocombustíveis avançados médios são destinados aos veículos pesados, inclusive os veículos utilizados para o transporte de cargas e os biocombustíveis uti- lizados pelos setores marítimo e de aviação. Entre as principais rotas tecnológicas para conversão da bio- massa nestes biocombustíveis destacam-se a pirólise, a liquefação hidrotérmica, a gaseificação seguida de síntese catalítica e a oligomerização de álcoois.⁴ Os principais biocombustíveis produzidos por essas ro- tas são o *diesel* biocombustível, o *biojet* e os produtos que podem ser utilizados como biocombustíveis maríti- mos (ou *biobunkers*), dos quais se ressaltam o já citado *diesel* biocombustível, o óleo de pirólise e o biometanol. O processamento de biogás e biometano será tratado na seção relativa às tecnologias consideradas para o setor de resíduos.

⁴ A oligomerização de álcoois compreende a rota também conhecida como *alcohol-to-jet* (ATJ), utilizada para a produção de *biojet*.

Quadro 10 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de energia

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
IMPLEMENTAÇÃO DE PILOTO DE FLARE	
Energia (E&P de óleo e gás)	A adoção da tecnologia em plataformas de óleo e gás promove a eliminação da tocha (<i>flare</i>) com emissões constantes, uma vez que o dispositivo só inflama mediante a passagem do gás natural. A tecnologia inclui um sistema de recuperação do gás que consiste no fechamento completo da tubulação de <i>flare</i> , por meio de uma válvula de segurança. Além disso, um sistema de segurança é integrado à tecnologia, permitindo que a queima em <i>flare</i> seja acionada em situações emergenciais.
INSTALAÇÃO DE UNIDADES DE RECUPERAÇÃO DE VAPOR EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO	
Energia (E&P de óleo e gás)	Para evitar que o metano e outros compostos orgânicos voláteis e líquidos de gás natural, provenientes do armazenamento do óleo cru após a extração, volatilizem-se e sejam ventados para a atmosfera, podem ser instalados sistemas de recuperação de vapor. As principais tecnologias utilizadas nestes sistemas são adsorção por leito de carvão ativado, condensação por resfriamento ou compressão, absorção por colunas de transferência de massa e separação por membranas.
ROTA GAS-TO-LIQUIDS (GTL)	
Energia (E&P de óleo e gás)	A rota tecnológica denominada GTL pode ser utilizada para o processamento do gás associado em plataformas de produção de óleo e gás, reduzindo, assim, a queima do gás natural excedente, que passa, então, a ser utilizado para a produção de combustíveis sintéticos e óleo lubrificante. Cumpre-se destacar que esta rota tecnológica é aplicável apenas à extração de óleo na camada pós-sal de exploração <i>offshore</i> .
CAPTURA DE CO₂ NA PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS NATURAL	
Energia (E&P de óleo e gás)	Captura de CO ₂ diretamente do gás associado extraído nos campos do pré-sal, especificamente em plataformas flutuantes do tipo <i>floating production storage and offloading</i> (FPSO) e utilizando o método de separação por membranas.
CAPTURA DE CO₂ EM FCCS	
Energia (Refino de petróleo)	Sistema de captura de CO ₂ por oxidação, ou seja, por combustão utilizando oxigênio como agente oxidante. É aplicado em unidades de craqueamento fluido, que têm como principal fonte de emissão o efluente gasoso proveniente da etapa de regeneração do catalisador.
CAPTURA DE CO₂ EM UGHS	
Energia (Refino de petróleo)	Sistema de captura por absorção química, baseado na remoção de CO ₂ do fluxo de gás por meio de um sistema contínuo de depuração de gases. O processo de absorção química baseia-se na remoção do dióxido de carbono da corrente gasosa decorrente da reforma a vapor do gás natural em UGHs da refinaria, por meio de sua passagem por um sistema contínuo de lavadores de gases.
TURBINAS HIDROcinÉTICAS	
Energia (Elétrico)	As turbinas hidrocinéticas são máquinas hidráulicas que usam a energia cinética da água do rio ou das correntes das marés para gerar eletricidade. Ao usar a energia cinética em vez da energia potencial gravitacional, as turbinas hidrocinéticas permitem a geração elétrica de elevações de água menores. Possuem potencial para aplicação tanto em ambientes urbanos quanto rurais, podendo ser utilizadas para o aproveitamento da energia cinética residual relativa ao fluxo de água após o turbinamento de usinas hidrelétricas convencionais, resultando em ganhos de até 5% da potência instalada.

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS	
Energia (Elétrico)	Usinas hidrelétricas reversíveis promovem o armazenamento de energia por bombeamento de água ou acumulação hidráulica. Este sistema consiste no bombeamento de água de um reservatório inferior para um reservatório superior, normalmente em horários fora da ponta, com o intuito de utilizar esse recurso armazenado, revertendo o fluxo para gerar eletricidade nos momentos de mais alta demanda.
REPOTENCIAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS	
Energia (Elétrico)	Repotenciação de usinas hidrelétricas pode ser compreendida como todas as obras cujo objetivo seja gerar ganho de potência e de rendimento para usinas hidrelétricas. A repotenciação pode ser implementada por meio da substituição de máquinas antigas (tais quais turbinas, geradores e rotores), acompanhando os avanços tecnológicos da instalação de máquinas novas em poços adicionais em usinas existentes (poços adicionais vazios), e da modernização tanto das instalações quanto dos sistemas de controle, melhorando, assim, o desempenho das usinas e contribuindo para a adição de energia firme e de reserva de potência.
ENERGIA EÓLICA OFFSHORE	
Energia (Elétrico)	Consiste na implementação de torres eólicas no oceano, podendo ser instaladas em águas rasas (profundidade menor de 30 metros), médias (30 a 60 metros) ou profundas (mais de 60 metros). Basicamente, possuem os mesmos aspectos tecnológicos das torres eólicas instaladas <i>onshore</i> . Porém, tendem a ser maiores, para redução de custos por MW de capacidade instalada.
CICLO COMBINADO COM GASEIFICAÇÃO INTEGRADA DE BIOMASSA EM TERMELÉTRICAS	
Energia (Elétrico)	Processo de geração de eletricidade a partir da gaseificação de biomassa em ciclo combinado de turbinas a gás e vapor. O gás de síntese proveniente do processo, devidamente tratado e livre de impurezas e contaminantes, pode ser direcionado para diversas rotas objetivando a geração de produtos de maior valor agregado, entre as quais se destaca a geração de energia em termelétricas.
ENERGIA SOLAR TÉRMICA (CSP)	
Energia (Elétrico)	Produção de eletricidade a partir da energia solar, inicialmente convertida em energia térmica e depois em eletricidade, por meio de um ciclo termodinâmico. A CSP pode ser hibridizada para que a planta opere parcialmente com um combustível de <i>backup</i> , que pode ser de origem fóssil (tipicamente o gás natural) ou de origem renovável, como é o caso da hibridização com biomassa.
SOLAR FOTOVOLTAICA FLUTUANTE	
Energia (Elétrico)	O sistema solar fotovoltaico flutuante é uma adaptação da tecnologia de geração de energia fotovoltaica para aproveitamento energético de grandes extensões de superfícies aquáticas. A instalação de sistemas flutuantes difere-se de uma planta fotovoltaica tradicional pela necessidade de construção de uma estrutura flutuante, sistemas de ancoragem, cabeamento subaquático e a possibilidade de um inversor instalado nesta estrutura.

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
CAPTURA DE CO₂ EM TERMELÉTRICAS A GÁS NATURAL	
Energia (Elétrico)	A captura de CO ₂ pode ocorrer em usinas termelétricas de ciclo combinado a gás natural. A rota tecnológica utilizada é a captura do dióxido de carbono via pós-combustão. Normalmente, a captura via pós-combustão é realizada por meio de processos de absorção química utilizando aminas como solvente. Em tais processos, o dióxido de carbono é absorvido da corrente gasosa pelo solvente e, subsequentemente, desorvido, regenerando o solvente e formando uma corrente de CO ₂ purificada.
CAPTURA DE CO₂ EM TERMELÉTRICAS A CARVÃO	
Energia (Elétrico)	Sistemas de captura de CO ₂ pós-combustão e pré-combustão podem ser aplicados em termelétricas a carvão. Para caldeiras de combustão convencionais, a tecnologia de captura indicada é via pós-combustão. A captura via pré-combustão pode ser utilizada em termelétricas que fazem uso de sistemas de gaseificação do carvão. A captura de CO ₂ ocorre em caldeiras convencionais de combustão de carvão pulverizado, utilizando sistemas de absorção química, adsorção de sólidos e separação por membrana.
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO	
Energia (Biocombustíveis)	A principal tecnologia para a conversão de materiais lignocelulósicos em etanol é a hidrólise, que compreende a hidrólise propriamente dita, mas, também, a reação de sacarificação, e, previamente, o processo de quebra do material lignocelulósico. O principal material passível de ser utilizado como matéria-prima para a produção de etanol de segunda geração é o bagaço proveniente da produção de etanol convencional. O processo subdivide-se em: primeiro estágio de pré-tratamento; segundo estágio de hidrólise, que pode ser ácida ou enzimática; terceiro estágio de fermentação dos açúcares liberados; e quarto estágio de destilação, para separação da vinhaça do etanol produzido.
DIESEL BIOCOMBUSTÍVEL	
Energia (Biocombustíveis)	As principais rotas tecnológicas de conversão de biomassa em biocombustível <i>diesel</i> são: pirólise, liquefação hidrotérmica, gaseificação seguida de síntese catalítica e oligomerização de álcoois. O <i>diesel</i> biocombustível possui ampla aplicação, sobretudo no modal de transporte rodoviário, particularmente na movimentação de cargas, e relevante vantagem ambiental perante o <i>diesel</i> mineral.
BIOJET (BIOCOMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO)	
Energia (Biocombustíveis)	Além da aplicabilidade das rotas citadas na produção de <i>diesel</i> biocombustível, destaca-se a rota <i>alcohol-to-jet</i> (ATJ), na qual o biocombustível de aviação é obtido a partir de um álcool intermediário, tal qual o metanol, o etanol, o butanol, entre outros. O principal álcool utilizado como matéria-prima para este processo é o etanol. O processo constitui-se basicamente de quatro etapas: desidratação, oligomerização, destilação e hidrogenação. Possui grande vantagem ambiental, tendo em vista a intensidade de carbono do querosene de aviação.
BIOBUNKER PARA NAVEGAÇÃO	
Energia (Biocombustíveis)	As principais rotas tecnológicas de conversão de biomassa em <i>biobunker</i> para transporte marítimo também são a pirólise, a liquefação hidrotérmica, a gaseificação seguida de síntese catalítica e da oligomerização de álcoois. Analogamente às demais aplicações, possui grande potencial de mitigação de emissões tendo em vista o conteúdo de carbono do <i>bunker</i> marítimo.

Elaboração do autor.

3.3. Tecnologias pré-selecionadas no setor de transportes

As tecnologias aplicáveis no setor de transportes foram classificadas por tipologia: novos modais para transporte de passageiros; novos modais para transporte de cargas; eficiência de veículos rodoviários; eficiência de trens, embarcações e aeronaves; e eletrificação de veículos.

No caso dos novos modais para o transporte de cargas, tem-se que a redução das emissões de GEE pode ser obtida por meio da adoção de sistemas inteligentes de comboio e a navegação de cabotagem a gás natural.

Particularmente no que se refere aos veículos elétricos, tem-se que estes emergem como uma das mais promissoras tecnologias para diversas políticas do setor de transportes, como o aumento da segurança energética, a melhoria da qualidade do ar em cidades, a diminuição de ruídos e, juntamente a uma matriz elétrica renovável, a redução das emissões de GEE. A tecnologia também pode ser sinérgica com outras estratégias de transporte, como a eletrificação do transporte público e o compartilhamento de veículos (avaliados em novos modais para o transporte de passageiros), promovendo a melhoria, o barateamento e a eficiência da mobilidade urbana em si.

O constante aumento nas vendas de veículos elétricos e a crescente competição por desenvolver novas tecnologias no setor tendem a contribuir para a contínua redução nos custos de produção das baterias, que são responsáveis pelos maiores custos associados aos veículos elétricos, o que pode vir a torná-los mais competitivos em comparação com os veículos de motor a combustão interna (VCI). Assim, as perspectivas são de que os veículos elétricos expandam cada vez mais sua fração de mercado, provavelmente liderando a evolução dos modais de transportes e a transição do setor (IEA, 2018).

Existem dois tipos básicos de veículos elétricos: os híbridos, chamados de veículos elétricos híbridos *plug-in*, que possuem, além do motor elétrico e da bateria recarregável na tomada, um motor a combustão interna (MCI); e os totalmente elétricos, que incluem veículos elétricos a bateria (VEBs), compostos por um motor elétrico alimentado por uma bateria recarregável na tomada, e veículos elétricos a pilha a combustível (VEPCs), cujo motor elétrico é alimentado pela eletricidade produzida na pilha por meio de reações químicas com o combustível injetado.

Quadro 11 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de transportes

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS	
Transportes (Rodoviário)	A tecnologia considera o compartilhamento de carros e o compartilhamento de viagens pagas em carros particulares. Além disso, também leva em consideração a tecnologia de direção autônoma como uma contribuição para o compartilhamento do veículo, excluindo a necessidade do motorista ou do proprietário do carro.
NAVEGAÇÃO DE CABOTAGEM A GÁS NATURAL	
Transportes (Hidroviário)	A atividade de cabotagem é expressiva no país: as 30 principais rotas da cabotagem brasileira englobam distâncias entre 300 km e 2.000 km, totalizando mais de 160 milhões de toneladas de carga transportada, em 2018, em 378 embarcações habilitadas para cabotagem (ANTAQ, 2019). Sendo assim, o abastecimento <i>offshore</i> da frota de navios de cabotagem com gás natural advindo do pré-sal traduz-se em uma alternativa com grande potencial de reduzir o uso de óleo combustível e de <i>diesel</i> , diminuir emissões, evitar a necessidade de abastecimento na costa e, como benefício, destinar o gás natural de maneira eficiente.

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
SUBSTITUIÇÃO POR NOVOS MATERIAIS MAIS LEVES EM VEÍCULOS	
Transportes (Rodoviário)	Trata-se da produção de veículos rodoviários de transporte de carga com baixo peso, considerando a substituição de componentes pesados de aço por materiais novos e mais leves, como aço de alta resistência, alumínio e compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro, ou materiais mais avançados, como compósitos reforçados com magnésio e fibra de carbono.
MOTORES COM TURBOCOMPOUND ELÉTRICO	
Transportes (Rodoviário)	Motores com <i>turbocompound</i> visam ao aproveitamento energético dos gases exaustos do sistema de combustão. Todo o sistema do turbocompressor e do motor é mantido, e uma turbina adicional é inserida no sistema de exaustão, acionando um gerador elétrico que direciona a energia ao eixo virabrequim.
SISTEMA INTELIGENTE DE COMBOIO	
Transportes (Rodoviário)	No limite do estado da arte dos sistemas inteligentes está o controle de comboio. Nesse sistema, veículos, geralmente caminhões, que percorrem o mesmo percurso, deslocam-se juntos em forma de comboio, sendo que apenas o primeiro veículo é conduzido, e os demais, que são veículos de condução automática, o seguem, mantendo entre si um distanciamento seguro. Como os veículos de condução automática têm regimes de aceleração e desaceleração muito mais suaves, apresentam ganho de eficiência em relação ao primeiro veículo do comboio.
VEÍCULOS HÍBRIDOS FLEX	
Transportes (Rodoviário)	Veículos híbridos são aqueles compostos por um motor a combustão e outro elétrico. No caso dos híbridos <i>flex</i> , o motor a combustão pode ser abastecido com etanol, podendo ser potencialmente menos poluente. Em funcionamento, os dois motores são utilizados em conjunto quando em baixa rotação/velocidade, e, em alta rotação/velocidade, apenas o motor a combustão é acionado, gerando eletricidade que carrega a bateria do motor elétrico, promovendo autonomia maior que a do motor elétrico tradicional.
ELETRIFICAÇÃO PARCIAL OU TOTAL DE TRENS	
Transportes (Ferroviário)	A tecnologia é composta por trens híbridos e elétricos, tanto para transporte de passageiros quanto de carga. Tem-se como <i>benchmark</i> o trem híbrido <i>MTU Hybrid PowerPack</i> , da Rolls-Royce, que funciona como um motor elétrico e um gerador e, também, conta com a tecnologia de frenagem regenerativa, que recupera a energia durante as frenagens e a armazena em baterias.
SISTEMAS DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA DE TRENS	
Transportes (Ferroviário)	Os sistemas de levitação magnética (MagLev) para transporte ferroviário fazem os trens levitarem sobre os trilhos, reduzindo as forças de arrasto e a demanda de energia. Para o transporte ferroviário de alta velocidade, as tecnologias incluem técnicas de levitação magnética baseadas em levitação eletrodinâmica ou levitação eletromagnética (EML), enquanto, para o transporte urbano, a tecnologia de levitação magnética supercondutora tem sido estudada.
ELETRIFICAÇÃO PARCIAL OU TOTAL COM USO DE ENERGIA RENOVÁVEL EM EMBARCAÇÕES	
Transportes (Hidroviário)	A tecnologia engloba embarcações híbridas e elétricas, tanto para transporte de passageiros quanto de carga. As embarcações podem ser alimentadas por baterias carregadas na rede elétrica terrestre ou podem utilizar fontes renováveis, como eólica e solar, como sistemas de propulsão embarcados.

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
MELHORIAS NA AERODINÂMICA DE AERONAVES	
Transportes (Aéreo)	As tecnologias para melhorias da aerodinâmica em aeronaves estão basicamente relacionadas à redução do arrasto e do peso, que pode ser obtida por meio de alterações de <i>design</i> , como em aeronaves do tipo <i>Blended Wing Body</i> (BWB), ou pela utilização de materiais mais leves.
ELETRIFICAÇÃO COM USO DE ENERGIA RENOVÁVEL EM AERONAVES	
Transportes (Aéreo)	Consiste na tecnologia de aviões solares, que são equipados com células fotovoltaicas e baterias recarregáveis. Além disso, contam com motor, local da tripulação e sistema de gerenciamento de energia que permite longos voos. As células localizam-se nas asas do avião e são utilizadas para captar a energia da radiação solar e convertê-la em energia elétrica, que alimenta o sistema de propulsão e o sistema eletrônico de controle. A grande vantagem desse tipo de tecnologia é a quase eliminação da necessidade de combustível, dado que o total da energia gerada é consumido ou armazenado para uso posterior (períodos noturnos) em baterias secundárias.
VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS <i>PLUG-IN</i>	
Transportes (Transversal)	Um veículo elétrico híbrido <i>plug-in</i> combina os benefícios da combustão interna e dos motores elétricos. As baterias são carregadas com eletricidade da rede e alimentam o motor elétrico. Uma vez descarregado, o MCI é acionado, operando da mesma forma que em um veículo convencional.
VEÍCULOS LEVES ELÉTRICOS A BATERIA	
Transportes (Transversal)	Veículos leves elétricos a bateria funcionam com um motor elétrico alimentado por baterias, em substituição ao conjunto MCI e tanque dos veículos tradicionais. As baterias são recarregadas com eletricidade da rede em estações de recarga, quando o veículo não está em uso. Também utilizam a técnica de frenagem regenerativa, em que o motor elétrico passa a atuar como gerador elétrico nos momentos de frenagem ou desaceleração.
ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA	
Transportes (Transversal)	O ônibus elétrico a bateria (OEB) opera exclusivamente com motor elétrico alimentado a baterias, em substituição ao MCI e tanque dos veículos tradicionais. A principal diferença entre os veículos leves elétricos a bateria e veículos pesados a bateria, como é o caso do ônibus, decorre da necessidade, no segundo da instalação, de um banco maior de baterias, e das especificidades operacionais, que exigem diversas estratégias de recarga.
VEÍCULOS ELÉTRICOS A PILHA A COMBUSTÍVEL A HIDROGÊNIO	
Transportes (Transversal)	Os VEPCs a hidrogênio possuem células combustível que usam a energia química do hidrogênio para produzir eletricidade, em uma reação de oxirredução. A produção de hidrogênio pode vir da reforma do gás natural, como subproduto do processo de refino, ou via eletrólise, que utiliza eletricidade.
VEÍCULOS ELÉTRICOS A PILHA A COMBUSTÍVEL A ETANOL	
Transportes (Transversal)	Estes veículos possuem motores elétricos, mas, ao invés de o abastecimento ocorrer diretamente por eletricidade, ele é feito por meio de uma pilha a combustível que gera energia a partir do etanol, diretamente.

Elaboração do autor.

3.4. Tecnologias pré-selecionadas no setor de resíduos

O setor de resíduos compreende as atividades de tratamento e disposição dos resíduos sólidos urbanos (RSUs) e industriais e de efluentes urbanos e industriais. Os RSUs são formados, principalmente, por resíduos nos estados sólido e semissólido resultantes das atividades industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e do serviço de varrição (FARIA, 2017). Já os efluentes podem ser gerados por diversas atividades e compreendem os despejos provenientes de estabelecimentos domésticos, industriais e comerciais.

Os aterros de resíduos sólidos podem ser considerados como reatores biológicos que recebem, principalmente, resíduos e água, e produzem o biogás e o chorume. Inicialmente, a matéria orgânica é decomposta por um processo aeróbico e, após a redução do O_2 presente nos resíduos, ocorre a decomposição anaeróbica. O biogás produzido é formado majoritariamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e traços de amônia (NH_3), hidrogênio (H_2), gás sulfídrico (H_2S), nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2).

As emissões de GEE provenientes da disposição e do tratamento dos efluentes líquidos dependem diretamente da composição e da origem destes. Estes efluentes podem ser tratados *in situ* (não coletados), coletados e encaminhados para estações de tratamento de esgotos (ETEs) ou descartados em corpos hídricos (IPCC, 2006). Quando a matéria orgânica presente nos efluentes é degradada em condições anaeróbicas, como, por exemplo, nas ETEs, ocorre a emissão de CH_4 pela produção do biogás. A degradação de demais componentes dos efluentes (como ureia, nitratos e proteínas) é responsável pelas emissões de N_2O .

A seguir, são listadas tecnologias que apresentam barreiras de desenvolvimento e/ou difusão para aplicação em larga escala visando à mitigação de emissões no setor de resíduos.

Quadro 12 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de resíduos

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DO BIOGÁS COM MICROTURBINAS	
Resíduos (Efluentes, RSU e Agrícola)	Para a geração de eletricidade a partir do biogás, na fronteira tecnológica está a aplicação de microturbinas a gás. Consistem em pequenas turbinas de combustão que operam com elevadas velocidades de rotação e na faixa de 20 a 250 kW. Nas microturbinas, o ar é aspirado e conduzido ao seu interior com elevada pressão e velocidade. Em seguida, é misturado ao combustível e queimado na câmara de combustão. Os gases produzidos em elevadas temperaturas são expandidos na turbina, que aciona um gerador. O calor dos gases de exaustão pode ser aproveitado no processo para aquecimento do ar previamente à combustão.
BIODIGESTÃO DE RSU PARA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE E BIOMETANO	
Resíduos (RSU)	A biodigestão é o processo de decomposição da matéria orgânica presente nos RSUs em condições anaeróbias. Neste processo, ocorre a produção de biogás e biofertilizante, um resíduo líquido rico em minerais. Consiste no aproveitamento do biogás em biodigestores para a produção de eletricidade e biometano.
INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS	
Resíduos (RSU e Agrícola)	A incineração é um ciclo termoquímico de combustão que utiliza os RSUs como fonte energética, reduzindo seu volume e liberando energia na forma de calor. Os resíduos incinerados são decompostos em três fases, por meio de um processo de oxidação. São produzidas a fase sólida inerte (cinzas ou escórias), a fase gasosa e a fase líquida (mínimas quantidades). Os gases produzidos devem ser tratados previamente à liberação na atmosfera, por conterem GEE, poluentes atmosféricos e gases tóxicos. As cinzas podem ser inertizadas e dispostas em aterros sanitários. Os líquidos devem ser neutralizados e enviados às estações de tratamento de efluentes específicas.
GASEIFICAÇÃO DE RSU POR PLASMA	
Resíduos (RSU)	Tratamento térmico alternativo de RSU pela formação de plasma (gás ionizado) e que produz sólidos vitrificados e gás de síntese. Ambos os produtos podem ser aproveitados. Os sólidos vitrificados podem ser processados para obtenção de metais ou utilizados na indústria de construção, enquanto o gás de síntese pode ser utilizado para produção de energia, combustível, químicos ou para extração do hidrogênio puro, considerado uma alternativa promissora para substituição de combustíveis fósseis.
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E AGROINDUSTRIAIS	
Resíduos (Agrícola)	Os resíduos agrícolas e agroindustriais podem ser reaproveitados por meio do processo de biodigestão, em que a matéria orgânica presente nos resíduos é decomposta em condições anaeróbias, produzindo biogás para ser utilizado como biocombustível e para geração de eletricidade, e biofertilizante rico em minerais para adubação do solo. Destaca-se o processo de codigestão de resíduos, o qual permite o aproveitamento do elevado potencial energético dos resíduos agropecuários para produção de biogás, tendo em vista a flexibilidade de utilizar diferentes matérias-primas agrícolas.

Elaboração do autor.

3.5. Tecnologias pré-selecionadas no setor de edificações

O setor de edificações pode ser segmentado nos sub-setores residencial, comercial e de serviços. Nos segmentos residencial e comercial, o uso de energia está diretamente associado à qualidade de vida das pessoas. O segmento de serviços é responsável pela geração de renda e empregos no país.

Foram mapeadas soluções tecnológicas inovadoras para mitigar emissões de GEE nos segmentos citados, tanto ao nível do consumo de energia útil por equipamentos quanto decorrentes do envoltório das edificações, quais sejam: i) fogões solares fotovoltaicos com indução; ii) geração distribuída com centrais microgeradoras renováveis; iii) *smart grid*; e iv) *zero energy buildings* (ZEBs).⁵

Quadro 13 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de edificações

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
FOGÕES SOLARES FOTOVOLTAICOS COM INDUÇÃO	
Edificações (Residencial)	Os fogões solares com indução são equipamentos para cozimento de alimentos por meio de um sistema que integra placas fotovoltaicas (FVs), baterias e placas de indução que, em contato com a panela, geram calor para cocção. Esta tecnologia permite mais autonomia e flexibilidade em relação a outros fogões solares, possibilitando que estes equipamentos possam ser utilizados em períodos sem disponibilidade de energia solar.
CENTRAIS MICROGERADORAS RENOVÁVEIS: MICROTURBINAS EÓLICAS, OPV E CÉLULAS DE FILMES FINOS	
Edificações (Residencial, Comercial e Serviços)	A geração distribuída (GD) é definida como qualquer central geradora de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente ao sistema de distribuição ou às instalações localizadas nas unidades consumidoras e que podem operar em paralelo, de forma isolada e despachadas – ou não – pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico. A GD de pequeno porte em edificações é empregada principalmente por sistemas fotovoltaicos de microgeração. Os sistemas são comumente instalados nos telhados, e podem ser compostos por tecnologias inovadoras, como células fotovoltaicas orgânicas e células fotovoltaicas de filme fino, além das microturbinas eólicas.
SMART GRID	
Edificações (Residencial, Comercial e Serviços)	<i>Smart grid</i> representa o conceito de redes elétricas inteligentes, ou seja, redes que utilizam elementos digitais para a transmissão de energia. Esses elementos permitem a comunicação, a coleta e a análise de informações essenciais para melhorar e controlar o sistema como um todo. A tecnologia transforma as redes de energia comuns em redes inteligentes, resultando em uma nova configuração para as redes elétricas, que possibilita a integração segura das fontes renováveis de energia, dos <i>smart buildings</i> (edifícios inteligentes) e dos geradores distribuídos na rede.
NOVOS MATERIAIS APLICADOS NOS ZEBs	
Edificações (Residencial, Comercial e Serviços)	Consistem em materiais usados em ZEBs que contribuem para seu alto desempenho energético, tais como: controle de iluminação; controle do sistema de renovação do ar externo; isolamento térmico das paredes e divisão dos ambientes condicionados; sistema de medição do consumo e produção de energia na edificação; sistema de gerenciamento do consumo de energia por uso final; geração <i>on-site</i> de fontes renováveis (eólica e solar); aquecimento de água por meio de coletores solares; entre outras.

Elaboração do autor.

⁵ Embora os ZEBs não representem, por si só, uma tecnologia *stricto sensu*, o conceito está associado a inovações tecnológicas, à medida que depende do desenvolvimento de novos materiais, da geração distribuída e das redes inteligentes.

3.6. Tecnologias pré-selecionadas no setor de Afolu

O mapeamento de tecnologias com lacunas de desenvolvimento e/ou difusão tecnológica no setor de Afolu considerou documentos como o PACTI e outras contribuições do Mapa e da Embrapa, realizados por meio de reuniões com a equipe técnica do projeto

TNA_BRAZIL. Dessa forma, foi realizada uma classificação das tecnologias em três subclasses (agricultura, pecuária e outros usos da terra), a fim de compatibilizar todas as propostas e agrupar em um mesmo escopo aquelas mais similares.

Quadro 14 – Descrição das tecnologias com necessidades de desenvolvimento e/ou difusão no setor de Afolu

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)	
Afolu (Agricultura)	A AP compreende um conjunto de tecnologias que aumentam o retorno econômico e reduzem o impacto ambiental, ou seja, tornam a agricultura mais precisa e eficiente. Estas tecnologias podem incluir: i) sensoriamento remoto (imagens captadas por aeronaves e satélites); ii) sensoriamento proximal de plantas, solo, distância e qualidade do produto; iii) <i>softwares</i> específicos que armazenam e tratam dados para tomada de decisão sobre preparo do solo, plantio, irrigação, aplicação eficiente de fertilizantes e corretivos; entre outros.
ALTERNATIVAS DE CARBONO AO NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO (NPK)	
Afolu (Agricultura)	Sistemas, estratégias, processos ou soluções para o uso de inoculantes para fixação biológica de nitrogênio, compreendendo micro-organismos solubilizadores de fosfato, pó de rocha e fixação biológica para gramíneas como alternativas de baixo carbono ao NPK.
MELHORAMENTO GENÉTICO AGRÍCOLA POR MEIO DA FENOTIPAGEM ROBÓTICA	
Afolu (Agricultura)	Sistemas, estratégias, processos ou soluções para o desenvolvimento de cultivares mais produtivas, resistentes e adaptadas às mudanças climáticas e tecnologias de fenotipagem robótica para a coleta de dados para classificação e análise de características vegetais úteis ao melhoramento genético agrícola.
MELHORAMENTO GENÉTICO ANIMAL (MGA) NA PECUÁRIA BOVINA DE CORTE	
Afolu (Pecuária)	O MGA aplicado na pecuária bovina é uma tecnologia que permite modificar a composição genética dos rebanhos ao longo das gerações, visando à produção de animais mais adequados ao ambiente de criação e às exigências do mercado. A tecnologia envolve o uso de <i>chips</i> e sistemas computacionais para monitoramento de animais que apresentem as características de interesse, gerando um banco de dados para auxiliar na evolução genética dos rebanhos. Posteriormente, os dados podem ser utilizados na definição de acasalamentos e na comercialização de material genético.
SUPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL	
Afolu (Pecuária)	Sistemas, estratégias, processos ou soluções para suplementação nutricional de rebanhos com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir as emissões. Entre as tecnologias disponíveis e que demandam maior difusão, podem ser citadas: i) disposição de um cocho privativo contendo ração concentrada na fase de aleitamento (<i>creep-feeding</i>); ii) suplementação nutricional para animais na fase de recria durante o período seco do ano; e iii) suplementação nutricional com elevado teor energético na fase de engorda animal.

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS
SILVICULTURA DE PRECISÃO	
Afolu (Outros usos da terra)	Silvicultura de precisão baseia-se no conhecimento prévio que abarca a variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção e da própria produtividade. Além do uso de tecnologias da informação, como o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global (GPS) e o sistema de informação geográfica (SIG), a adoção da silvicultura de precisão pressupõe o uso de máquinas e implementos capazes de realizar serviços ou aplicações, localizadas e variadas, de insumos.
PLANTIOS MISTOS (EXÓTICAS E NATIVAS)	
Afolu (Outros usos da terra)	Sistemas, estratégias, processos e soluções para o desenvolvimento de florestais comerciais que combinam espécies exóticas e nativas com objetivos múltiplos (ou seja, exploração de produtos madeireiros e restauração ecológica).
MELHORAMENTO GENÉTICO FLORESTAL	
Afolu (Outros usos da terra)	Sistemas, estratégias, processos ou soluções para o desenvolvimento de espécies florestais eficientes no uso dos recursos naturais e resilientes às condições edafoclimáticas.
SILVICULTURA DE NATIVAS APLICADAS À RESTAURAÇÃO	
Afolu (Outros usos da terra)	Sistemas, estratégias, processos ou soluções para o desenvolvimento de plantações florestais de alta produtividade a partir de espécies nativas, a fim de apresentar alternativas de restauração florestal.
CONSERVAÇÃO E MELHORAMENTO GENÉTICO DE NATIVAS	
Afolu (Outros usos da terra)	A silvicultura é o processo de produção de árvores em escala industrial e comercial. Para as espécies nativas terem competitividade com espécies exóticas, é necessário que sejam modificadas geneticamente, aumentando a produtividade e a qualidade. O ponto de partida para se alcançar tal desenvolvimento é a implementação de programas de melhoramento genético e de manejo das espécies arbóreas com potencial econômico e, a partir destes, obter sementes com qualidade genética para atender às demandas das indústrias do setor florestal em um contexto de sustentabilidade.
MONITORAMENTO POR SATÉLITE	
Afolu (Transversal)	Os sistemas de monitoramento por satélite possibilitam a obtenção de informações de certa área por meio da captação de imagens aéreas. Estas imagens podem mostrar se a área possui cobertura vegetal nativa ou exótica, se está degradada, se conta com atividade agrícola ou outras, indicando características específicas de cada paisagem. Englobam o monitoramento dos principais elementos da paisagem e atividades do meio rural, com foco no monitoramento do desmatamento, na restauração florestal e na AP.
SISTEMAS DE VALIDAÇÃO DO CADASTRO AMBIENTAL RURAL	
Afolu (Transversal)	Sistemas, estratégias, processos ou soluções com o objetivo de validar dados sobre propriedades rurais e seus atributos inseridos no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (Sicar).
SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO DE CADEIAS LIVRES DE DESMATAMENTO	
Afolu (Transversal)	A base de um sistema de certificação são os sistemas de monitoramento dos recursos/matérias-primas ao longo de toda a cadeia de produção. Estes sistemas são apoiados em princípios de credibilidade que são determinados por instituições nacionais ou internacionais reconhecidas para garantir o cumprimento dos requisitos definidos. Neste particular, consiste em sistemas que certifiquem que os produtos oriundos da cadeia produtiva agrícola não tenham impactos sobre o desmatamento direto ou indireto.

Elaboração do autor.

4.

Pontuação, Ranqueamento e Priorização **de Tecnologias Mitigadoras de Emissões**



4. PONTUAÇÃO, RANQUEAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS MITIGADORAS DE EMISSÕES

A partir da aplicação dos formulários multicritério junto aos atores-chave, foi obtida, inicialmente, a frequência de distribuição de respostas em termos dos pesos

(gráfico 1). Neste caso, constatou-se que os atores estabeleceram majoritariamente peso igualmente importante aos macrocritérios e aos indicadores.

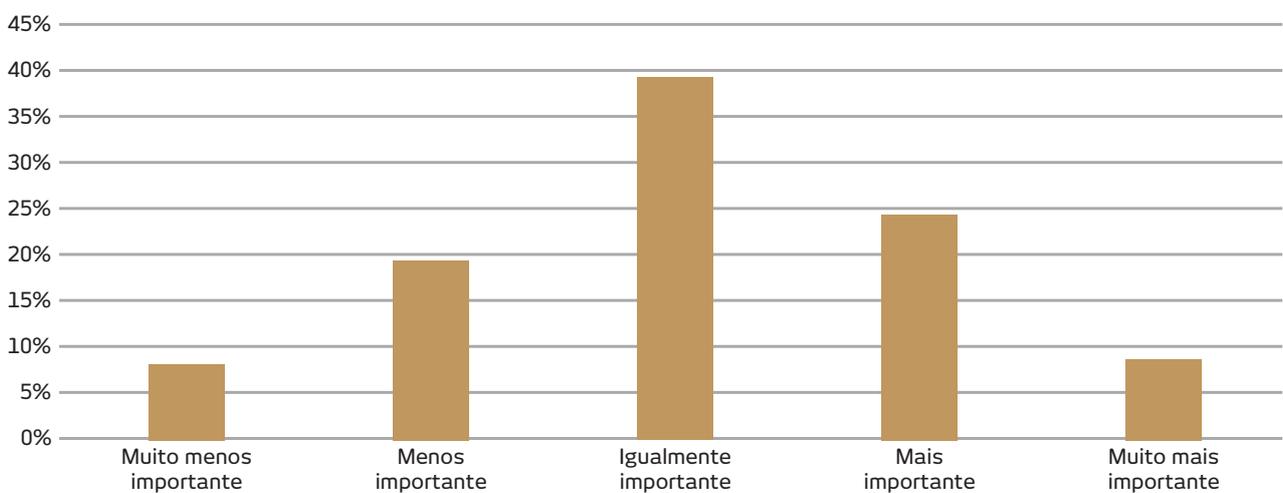
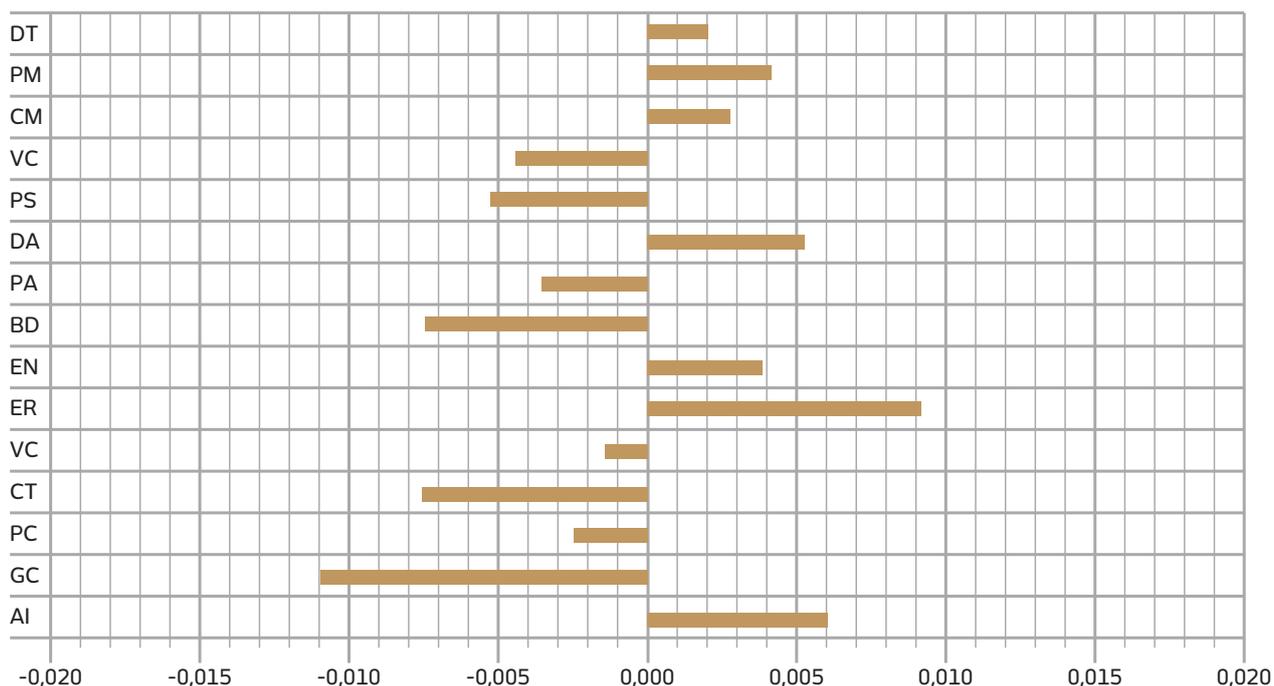


Gráfico 1 – Distribuição da frequência de respostas relativamente ao peso dos indicadores

Elaboração do autor.

Os gráficos 2 e 3 mostram os pesos obtidos pelo processo AHP para os 15 indicadores e quatro macrocritérios, respectivamente. Interessantemente, a despeito do objetivo principal de redução de emissões associado às tecnologias, o indicador de “geração de emprego e renda” recebeu o maior peso junto aos atores-chave. Os indicadores de “impacto na disponibilidade de água” e de “viabilidade de adoção perante o arcabouço ins-

titucional” também tiveram um peso elevado atribuído nos *workshops*. Os demais indicadores associados ao macrocritério institucional foram considerados de baixa importância. Para os macrocritérios, o “socioeconômico” foi considerado importante e apresentou o maior peso no valor final, seguido dos macrocritérios “tecnológico”, físico” e “institucional”.



Legenda: DT: nível de prontidão tecnológica; PM: potencial de mitigação de emissões; CM: custo de mitigação de emissões; VC: vulnerabilidade à mudança do clima; PS: redução da poluição e benefícios para a saúde; DA: impacto na disponibilidade de água; PA: impacto na produção de alimentos; BD: impacto na conservação da biodiversidade; EN: impacto na disponibilidade de energia; ER: geração de emprego e renda; VC: vantagens competitivas para o Brasil; CT: sinergia com a ENCTI; PC: sinergia com as políticas climáticas nacionais; GC: sinergia com o Programa País para o GCF; AI: viabilidade de adoção perante o arcabouço institucional.

Gráfico 2 – Desvio dos pesos atribuídos aos indicadores

Elaboração do autor.

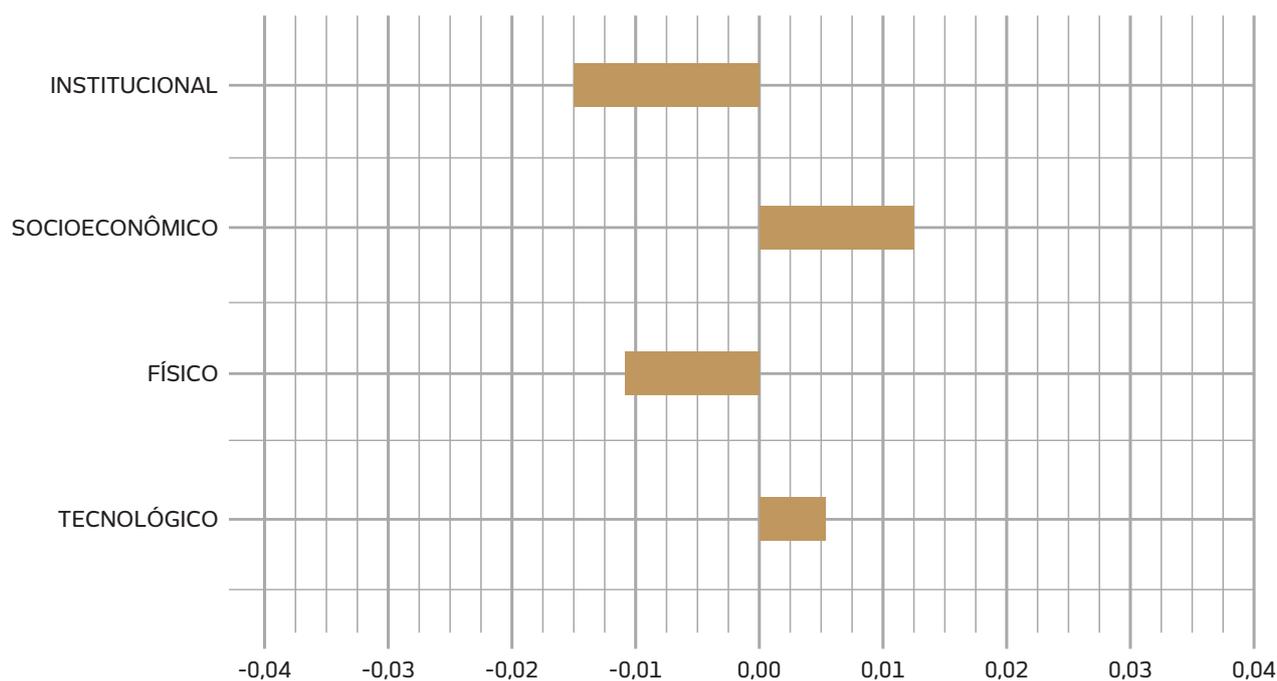


Gráfico 3 – Desvio dos pesos atribuídos aos macrocritérios

Elaboração do autor.

Em seguida, a equipe técnica do projeto TNA_BRAZIL pontuou as tecnologias selecionadas em cada um dos 15 indicadores, de acordo com os critérios determinados na metodologia (quadro 15).

Quadro 15 – Pontuação das tecnologias por indicador

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIA	INDICADORES														
		DT	PM	CM	VC	PS	DA	PA	BD	EN	ER	VC	CT	PC	GC	AI
Industrial (Cimento)	Leito fluidizado avançado	4	1	5	3	4	3	3	3	3	4	1	3	3	3	3
Industrial (Cimento)	Cimento geopolimérico		2	5	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	2
Industrial (Cimento)	Materiais inovadores para cimento	3	3	4	4	4	4	3	4	4	3	2	4	3	4	1
Industrial (Cimento)	Plantas híbridas solares	1	2	1	1	5	3	3	3	4	4	1	3	4	5	1
Industrial (Cimento)	Captura de CO ₂	4	5	1	3	3	1	3	3	1	4	1	3	3	2	1
Industrial (Cimento)	Sistemas de enriquecimento com oxigênio	2	5	2	3	3	2	3	3	1	4	1	3	3	2	1
Industrial (Cimento)	<i>Chemical looping</i>	2	5	1	3	4	2	3	3	1	4	1	3	3	2	1
Industrial (Químico)	Emprego de separação por membranas	3	1	1	3	3	5	3	3	4	3	3	3	3	3	3
Industrial (Químico)	Craqueamento catalítico da nafta	4	1	5	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3	2
Industrial (Químico)	Uso de biomassa para produção de olefinas	5	2	2	2	3	2	2	1	2	4	5	4	5	3	4

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIA	INDICADORES														
		DT	PM	CM	VC	PS	DA	PA	BD	EN	ER	VC	CT	PC	GC	AI
Industrial (Químico)	Uso de H ₂ obtido a partir de fontes renováveis para produção de amônia e metanol	3	1	1	1	5	2	3	3	2	4	2	3	3	2	2
Industrial (Químico)	Captura de carbono na produção de amônia	5	1	4	3	3	3	3	3	3	4	2	3	3	2	1
Industrial (Siderurgia)	Reforma dos gases de coqueria	3	3	1	3	4	3	3	3	4	3	1	3	3	3	1
Industrial (Siderurgia)	Recuperação de calor residual do forno elétrico a arco com o uso de Ciclo Rankine Orgânico	5	1	1	3	3	3	3	3	4	3	1	3	3	3	2
Industrial (Siderurgia)	Aplicação do processo SIDERWIN	2	5	1	3	4	2	3	3	4	3	1	3	3	2	1
Industrial (Siderurgia)	Aplicação da tecnologia <i>Drying, Pyrolysis and Cooling</i> (DPC) na produção de carvão vegetal	4	5	5	1	4	2	2	1	3	4	5	4	4	4	4
Industrial (Siderurgia)	Aplicação da tecnologia Ondatec na produção de carvão vegetal	3	5	5	1	4	2	2	1	3	4	5	4	4	4	4
Industrial (Siderurgia)	Coleta e reforma de gás de alto-forno pelo processo Igar	1	2	1	3	4	3	3	3	4	3	1	3	3	3	1
Industrial (Siderurgia)	Aplicação do processo Hlsarna na rota de fusão redutora	3	5	5	3	4	3	3	3	4	3	1	3	3	3	1
Industrial (Transversal)	Indústria 4.0	3	5	5	3	4	4	3	3	4	4	2	5	3	3	2
Industrial (Transversal)	Uso de fontes renováveis em processos industriais	4	5	3	1	4	3	2	2	4	4	4	4	4	4	3
Industrial (Transversal)	Transporte de CO ₂	5	5	2	3	3	3	3	3	2	4	2	3	3	2	1
Industrial (Transversal)	Armazenamento de CO ₂	5	5	3	3	3	3	3	3	3	4	5	3	3	2	1
Energia (E&P de óleo e gás)	Implementação de piloto de flare	5	1	2	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	2	5
Energia (E&P de óleo e gás)	Instalação de unidades de recuperação de vapor em tanques de armazenamento	5	1	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	2	4
Energia (E&P de óleo e gás)	Rota <i>gas-to-liquids</i> (GTL)	3	1	1	3	4	3	3	3	5	4	4	4	3	2	1

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIA	INDICADORES														
		DT	PM	CM	VC	PS	DA	PA	BD	EN	ER	VC	CT	PC	GC	AI
Energia (E&P de óleo e gás)	Captura de CO ₂ na produção de óleo e gás natural	1	2	3	3	3	2	3	3	1	4	4	3	3	2	1
Energia (Refino de petróleo)	Captura de CO ₂ em unidades de craqueamento catalítico fluido	2	2	2	3	3	1	3	3	1	4	4	3	3	2	1
Energia (Refino de petróleo)	Captura de CO ₂ em unidades de geração de hidrogênio	5	1	2	3	3	1	3	3	1	4	4	3	3	2	1
Energia (Elétrico)	Turbinas hidrocinéticas	3	1	4	2	4	3	3	3	5	4	5	3	4	3	3
Energia (Elétrico)	Usinas hidrelétricas reversíveis	5	1	4	2	4	3	3	3	5	3	5	3	4	4	2
Energia (Elétrico)	Repotenciação de usinas hidrelétricas	5	1	4	3	3	3	3	3	4	3	5	3	4	3	2
Energia (Elétrico)	Energia eólica <i>offshore</i>	1	1	1	2	4	3	3	2	5	4	5	4	4	5	3
Energia (Elétrico)	Ciclo combinado com gaseificação integrada de biomassa em termelétricas	3	1	2	2	4	1	1	1	4	4	5	4	4	4	3
Energia (Elétrico)	Energia solar térmica (CSP)	4	2	1	2	4	1	1	1	4	4	5	4	4	5	3
Energia (Elétrico)	Solar fotovoltaica flutuante	5	1	2	2	4	4	3	2	5	4	5	5	5	5	5
Energia (Elétrico)	Captura de CO ₂ em termelétricas a gás natural	4	1	2	3	3	1	3	3	1	4	4	3	3	2	1
Energia (Elétrico)	Captura de CO ₂ em termelétricas a carvão	4	1	2	3	3	1	3	3	1	4	3	4	3	2	1
Energia (Biocombustíveis)	Etanol de segunda geração	3	1	2	2	3	1	3	3	4	5	5	5	5	5	5
Energia (Biocombustíveis)	<i>Diesel</i> biocombustível	3	5	2	2	4	1	1	1	4	5	5	4	5	5	4
Energia (Biocombustíveis)	Biojet (biocombustível de aviação)	2	3	2	2	4	1	1	1	4	5	5	5	5	5	4
Energia (Biocombustíveis)	<i>Biobunker</i> para navegação	3	1	2	2	4	1	1	1	4	5	5	4	5	5	2
Transportes (Rodoviário)	Compartilhamento de veículos	3	5	1	3	5	3	3	3	3	3	4	5	4	5	1
Transportes (Rodoviário)	Navegação de cabotagem a gás natural	5	1	4	2	4	3	3	3	2	4	4	3	4	5	2
Transportes (Rodoviário)	Substituição por novos materiais mais leves em veículos	3	1	5	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3
Transportes (Rodoviário)	Motores com <i>turbocompound</i> elétrico	4	1	5	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIA	INDICADORES														
		DT	PM	CM	VC	PS	DA	PA	BD	EN	ER	VC	CT	PC	GC	AI
Transportes (Rodoviário)	Sistema inteligente de comboio	3	2	5	3	4	3	3	3	4	2	4	3	4	3	1
Transportes (Rodoviário)	Veículos híbridos flex	5	5	2	3	5	4	3	3	4	4	5	4	5	5	5
Transportes (Ferroviário)	Eletrificação parcial ou total de trens	5	1	1	3	5	3	3	3	4	5	3	3	4	5	2
Transportes (Ferroviário)	Sistemas de levitação magnética de trens	2	1	1	3	5	3	3	3	3	4	4	3	4	5	2
Transportes (Hidroviário)	Eletrificação parcial ou total com uso de energia renovável em embarcações	5	1	4	2	4	3	3	4	4	3	4	3	4	5	3
Transportes (Aéreo)	Melhorias na aerodinâmica de aeronaves	1	1	1	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3	2
Transportes (Aéreo)	Eletrificação com uso de energia renovável em aeronaves	3	1	1	2	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	2
Transportes (Transversal)	Veículos elétricos híbridos <i>plug-in</i>	5	5	1	3	5	4	3	3	4	5	3	3	5	5	4
Transportes (Transversal)	Veículos leves elétricos a bateria	5	5	1	3	5	3	3	3	4	4	2	3	4	5	4
Transportes (Transversal)	Ônibus elétricos a bateria	5	2	3	3	5	3	3	3	4	4	2	3	4	5	4
Transportes (Transversal)	Veículos elétricos a pilha a combustível a hidrogênio	4	3	1	3	5	2	3	3	4	4	2	3	4	5	1
Transportes (Transversal)	Veículos elétricos a pilha a combustível a etanol	3	5	1	3	5	4	3	3	4	4	5	4	5	5	5
Resíduos (Efluentes, RSU e Agrícola)	Produção de eletricidade a partir do biogás com microturbinas	4	1	4	3	4	3	3	3	4	4	2	4	5	5	4
Resíduos (RSU)	Biodigestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) para produção de eletricidade e biometano	5	1	4	3	4	3	3	3	4	4	2	4	5	5	4
Resíduos (RSU e Agrícola)	Incineração de resíduos	5	1	3	3	2	3	3	3	4	4	3	4	5	4	4
Resíduos (RSU)	Gaseificação de RSU por plasma	4	1	1	3	5	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4
Resíduos (Agrícola)	Aproveitamento de resíduos agrícolas e agroindustriais	5	4	3	4	3	5	5	4	4	4	5	4	5	5	3

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIA	INDICADORES															
		DT	PM	CM	VC	PS	DA	PA	BD	EN	ER	VC	CT	PC	GC	AI	
Edificações (Residencial)	Fogões solares fotovoltaicos com indução	5	1	5	2	5	3	3	3	5	4	5	4	4	4	3	
Edificações (Residencial, Comercial e Serviços)	Centrais microgeradoras renováveis: microturbinas eólicas, OPV e células de filmes finos	4	1	1	1	4	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	
Edificações (Residencial, Comercial e Serviços)	Smart grids	3	1	1	3	3	3	3	3	5	5	3	5	4	4	4	
Edificações (Residencial, Comercial e Serviços)	Novos materiais aplicados nos Zero Energy Buildings (ZEBs)	3	1	3	3	3	3	3	3	4	5	3	4	4	5	4	
Afolu (Agricultura)	Agricultura de precisão	4	4	3	4	4	4	4	2	4	2	5	5	4	4	4	
Afolu (Agricultura)	Alternativas de carbono ao Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK)	2	4	3	3	4	3	4	4	3	3	5	4	4	4	4	
Afolu (Agricultura)	Melhoramento genético agrícola por meio da fenotipagem robótica	4	4	3	4	3	4	4	2	4	3	5	4	4	4	4	
Afolu (Pecuária)	Melhoramento genético animal na pecuária bovina de corte	2	4	3	4	4	3	4	2	3	3	5	4	4	4	4	
Afolu (Pecuária)	Suplementação nutricional	4	4	3	2	4	3	4	3	3	3	5	4	4	2	4	
Afolu (Outros Usos da Terra)	Silvicultura de precisão	2	5	5	4	4	4	3	1	4	2	5	5	5	4	5	
Afolu (Outros Usos da Terra)	Plantios mistos (exóticas e nativas)	1	5	4	4	4	4	4	4	3	4	5	5	5	5	5	
Afolu (Outros Usos da Terra)	Melhoramento genético florestal	4	4	5	2	4	4	4	2	3	3	5	5	4	5	5	
Afolu (Outros Usos da Terra)	Silvicultura de nativas aplicadas à restauração	1	5	5	5	5	5	4	5	3	5	5	5	5	5	4	
Afolu (Transversal)	Conservação e melhoramento genético de nativas	1	4	4	5	4	4	4	5	3	3	5	5	4	5	4	
Afolu (Transversal)	Monitoramento por satélite	3	5	4	3	4	5	4	5	4	2	4	5	5	5	5	

continua

continuação

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIA	INDICADORES															
		DT	PM	CM	VC	PS	DA	PA	BD	EN	ER	VC	CT	PC	GC	AI	
Afolu (Transversal)	Sistemas de validação do Cadastro Ambiental Rural	2	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	5	5	5	4	
Afolu (Transversal)	Sistemas de certificação de cadeias livres de desmatamento	2	5	4	3	4	4	4	4	3	4	4	5	5	5	2	

Legenda:

- [1] Desempenho muito ruim
- [2] Desempenho ruim
- [3] Desempenho neutro
- [4] Desempenho bom
- [5] Desempenho muito bom

DT: Nível de prontidão tecnológica

PM: Potencial de mitigação de emissões

CM: Custo de mitigação de emissões

VC: Vulnerabilidade à mudança do clima

PS: Redução da poluição e benefícios para a saúde

DA: Impacto na disponibilidade de água

PA: Impacto na produção de alimentos

BD: Impacto na conservação da biodiversidade

EN: Impacto na disponibilidade de energia

ER: Geração de emprego e renda

VC: Vantagens competitivas para o Brasil

CT: Sinergia com a Estratégia Nacional de CT&I

PC: Sinergia com as políticas climáticas nacionais

GC: Sinergia com o Programa País para o GCF

AI: Viabilidade de adoção perante o arcabouço institucional

Elaboração do autor.

A partir da equação (3), foram ranqueadas as tecnologias constantes no quadro 16. As mais bem classificadas estão relacionadas no setor de Afolu, tendo em vista os inúmeros cobenefícios associados à sua ado-

ção. Contudo, as tecnologias do setor industrial aparecem, geralmente, nas últimas posições do *ranking*, particularmente em função do baixo nível de maturidade tecnológica.

Quadro 16 – *Ranking* das necessidades tecnológicas e desenvolvimento e/ou difusão

TECNOLOGIA	VALOR FINAL	TECNOLOGIA	VALOR FINAL
Silvicultura de nativas aplicadas à restauração	4,40	Eletrificação com uso de energia renovável em aeronaves	3,27
Aproveitamento de resíduos agrícolas e agroindustriais	4,15	Cimento geopolimérico	3,26
Monitoramento por satélite	4,14	Transporte de CO ₂ (indústria)	3,25
Veículos híbridos <i>flex</i>	4,10	Instalação de unidades de recuperação de vapor em tanques de armazenamento	3,24
Plantios mistos (exóticas e nativas)	4,08	Motores com <i>turbocompound</i> elétrico	3,23
Conservação e melhoramento genético de nativas	3,91	Repotenciação de usinas hidrelétricas	3,23
Melhoramento genético florestal	3,90	<i>Biojet</i> (biocombustível de aviação)	3,21
Veículos elétricos a pilha a combustível a etanol	3,89	Navegação de cabotagem a gás natural	3,18
Sistemas de validação do Cadastro Ambiental Rural	3,87	Implementação de piloto de <i>flare</i>	3,17
Veículos elétricos híbridos <i>plug-in</i>	3,85	Craqueamento catalítico da nafta	3,17
Silvicultura de precisão	3,84	Substituição por novos materiais mais leves em veículos	3,11
Sistemas de certificação de cadeias livres de desmatamento	3,80	Aplicação do processo Hlsarna na rota de fusão redutora	3,08
Solar fotovoltaica flutuante	3,76	Sistema inteligente de comboio	3,08
Agricultura de precisão	3,75	Energia eólica <i>offshore</i>	3,07
Melhoramento genético agrícola	3,71	Veículos elétricos a pilha a combustível a hidrogênio	3,05
Fogões solares fotovoltaicos com indução	3,70	Uso de biomassa para produção de olefinas	3,05
Veículos leves elétricos a bateria	3,57	Leito fluidizado avançado	2,99
Biodigestão de resíduos sólidos urbanos (RSUs) para produção de eletricidade e biometano	3,55	Sistemas de levitação magnética de trens	2,96
Alternativas de carbono ao nitrogênio, fósforo e potássio (NPK)	3,54	Energia solar térmica (CSP)	2,95
Indústria 4.0	3,52	<i>Biobunker</i> para navegação	2,92
Ônibus elétricos a bateria	3,49	Transporte de CO ₂ (termelétricas)	2,91
Melhoramento genético animal na pecuária bovina de corte	3,49	Emprego de separação por membranas	2,90
Produção de eletricidade a partir do biogás com microturbinas	3,49	Rota <i>gas-to-liquids</i> (GTL)	2,88
Materiais inovadores para cimento	3,48	Eletrificação de aeronaves	2,85
Aplicação da tecnologia <i>Drying, Pyrolysis and Cooling</i> (DPC) na produção de carvão vegetal	3,47	Captura de CO ₂ na produção de amônia	2,83

continua

continuação

TECNOLOGIA	VALOR FINAL	TECNOLOGIA	VALOR FINAL
Suplementação nutricional	3,45	Ciclo combinado com gaseificação integrada de biomassa em termelétricas	2,70
Centrais microgeradoras renováveis: microturbinas eólicas, OPV e células de filmes finos	3,42	Recuperação de calor residual do forno elétrico a arco com o uso de Ciclo Rankine Orgânico	2,69
Etanol de segunda geração	3,41	Reforma dos gases de coqueria	2,67
Eletrificação parcial ou total com uso de energia renovável em embarcações	3,41	Melhorias na aerodinâmica de aeronaves	2,67
Aplicação da tecnologia Ondatec na produção de carvão vegetal	3,40	Plantas solares híbridas	2,64
Uso de fontes renováveis em processos industriais	3,39	Aplicação do processo Siderwin	2,56
Diesel biocombustível	3,38	Captura de CO ₂ em unidades de geração de hidrogênio	2,51
Incineração de resíduos	3,37	Sistemas de enriquecimento com oxigênio	2,50
Novos materiais aplicados nos <i>zero energy buildings</i> (ZEBs)	3,36	Captura de CO ₂ na produção de cimento	2,50
Usinas hidrelétricas reversíveis	3,36	<i>Chemical looping</i> em plantas de cimento	2,49
Turbinas hidrocínicas	3,31	Captura de CO ₂ na produção de óleo e gás natural	2,49
Compartilhamento de veículos	3,31	Captura de CO ₂ em termelétricas a gás natural	2,48
<i>Smart grids</i>	3,30	Coleta e reforma de gás de alto-forno pelo processo Igar	2,48
Gaseificação de RSU por plasma	3,28	Captura de CO ₂ em termelétricas a carvão	2,43
Eletrificação parcial ou total de trens	3,28	Uso de H ₂ obtido a partir de fontes renováveis para produção de amônia e metanol	2,42

Elaboração do autor.

Conforme determinado pela DNP, em face ao cronograma físico-financeiro do projeto TNA_BRAZIL, foram priorizados 12 pacotes tecnológicos. Diante disso,

procedeu-se a amplo debate com os membros do CTC para esta seleção. O quadro 17 apresenta a quantidade de tecnologias selecionadas por setor e subsetor.

Quadro 17 – Número de tecnologias priorizadas por setor, subsetor e métodos de seleção

SETOR	SUBSETOR	MÉTODO DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS			
		SOR	SES	SRE	SSE
Indústria	Cimento	-	1	1	1
	Químico	-	-	-	-
	Siderurgia	-	-	-	-
	Transversal	-	1	1	1
Energia	E&P de óleo e gás	-	-	-	-
	Refino de petróleo	-	-	-	-
	Elétrico	-	1	1	1
	Biocombustíveis	-	1	-	-
Transportes	-	3	2	2	2
Resíduos	-	1	2	1	1
Edificações	-	-	2	-	1
Afolu	Agricultura e pecuária	-	-	-	2
	Outros usos da terra	8	2	6	3

Legenda: SOR – seleção ordinal; SES – seleção por equidade setorial; SRE – seleção por representatividade das emissões setoriais; SSE – seleção por representatividade subsetorial das emissões.

Elaboração do autor.

Foi obtido consenso acerca da priorização de tecnologias pelo método de representatividade subsetorial das emissões, garantindo, assim, que o objetivo final da TNA seja alcançado com equidade na distribuição das medidas nos setores-chave.

Além disso, o CTC recomendou a alteração do escopo da tecnologia de “silvicultura de nativas aplicadas à restauração” para “silvicultura e melhoramento genético de espécies nativas”, aproveitando, desta forma, si-

nergias com as tecnologias escolhidas nos outros sub-setores da Afolu, que também envolvem melhoramento genético. No âmbito da restauração florestal, optou-se pela consolidação da tecnologia de “plantios mistos (exóticas e nativas)” e “silvicultura de nativas aplicadas à restauração”, originando, assim, a tecnologia de “silvicultura com plantios mistos para restauração”.

A lista final das tecnologias selecionadas, com os respectivos setor e subsetor, é apresentada no quadro 18.

Quadro 18 – Tecnologias priorizadas por setor e subsetor

SETOR	SUBSETOR	TECNOLOGIA
Indústria	Cimento	Materiais inovadores para cimento
	Transversal	Indústria 4.0
Energia	Elétrico	Solar fotovoltaica flutuante
Transportes	Rodoviário	Veículos híbridos <i>flex</i>
		Veículos elétricos a pilha combustível a etanol
Resíduos	Resíduos agrícolas	Aproveitamento de resíduos agrícolas e agroindustriais
Edificações	Residencial	Fogões solares fotovoltaicos com indução
Afolu	Agricultura e pecuária	Agricultura de precisão
		Melhoramento genético na pecuária bovina de corte
	Outros usos da terra	Silvicultura e melhoramento genético de espécies nativas
		Monitoramento por satélite
		Silvicultura com plantios mistos para restauração

Elaboração do autor.

Considerações **Finais**



Considerações finais

O MCTI, com apoio do Pnuma e de parceiros técnicos, identificou 82 tecnologias para alavancar o desenvolvimento de baixo carbono e resiliente ao clima no Brasil.

Um processo participativo, conduzido junto a diversos atores-chave, foi realizado para determinar as tecnologias de mitigação prioritárias para vários setores no Brasil. Os atores foram consultados em todas as etapas metodológicas, permitindo uma TNA compreensiva e participativa. Portanto, a percepção destes atores foi capturada, potencializando, com isso, o engajamento deles para a adoção das tecnologias de baixo carbono.

Os indicadores que mais impactaram a seleção de tecnologias estão relacionados à geração de empregos e renda, ao impacto na disponibilidade de água e ao arcabouço institucional. Isso pode estar relacionado, respectivamente, à crise econômica pela qual o país atravessa, agravada pelos efeitos da pandemia de Covid-19, que aumentaram as taxas de desemprego nos últimos anos; à dependência do sistema elétrico e da agricultura do país aos recursos hídricos; e às fragilidades institucionais do Brasil para remover barreiras para o desenvolvimento e a difusão de tecnologias.

Com as pontuações e os pesos dos critérios, as tecnologias foram ranqueadas de acordo com seu valor final. As primeiras posições do *ranking* foram ocupadas majoritariamente por tecnologias do setor Afolu, com destaque para o subsetor de outros usos da terra. Para evitar a concentração das medidas em um único setor, a seleção das tecnologias prioritárias não foi feita pela escolha das mais bem classificadas, mas, sim, por um método alternativo que permite um melhor equilíbrio setorial.

Assim, foram definidas, com amplo engajamento e consenso dos membros das CS e do CTC do projeto TNA_BRAZIL, as seguintes prioridades tecnológicas para a elaboração de PATs: i) AP; ii) aproveitamento de

resíduos agrícolas e agroindustriais; iii) energia solar fotovoltaica flutuante; iv) fogões solares fotovoltaicos com indução; v) indústria 4.0; vi) materiais inovadores para cimento; vii) MGA na pecuária bovina de corte; viii) monitoramento por satélite; ix) silvicultura com plantios mistos para restauração; x) silvicultura e melhoramento genético de espécies nativas; xi) veículos elétricos a pilha combustível a etanol; e xii) veículos híbridos *flex*.

O recente lançamento de publicações e da ferramenta de financiamento do projeto TNA_BRAZIL tem o potencial de alavancar o desenvolvimento e a difusão de tecnologias climáticas para promoção da sustentabilidade no país:

- Planos de Ação Tecnológica para os setores do sistema energético, agricultura, florestas e outros usos da terra (publicações nas versões completa e sumário executivo) (BRASIL, 2021b; 2021c);
- Diretrizes de financiamento para as tecnologias e Planos Ação Tecnológica do projeto TNA_BRAZIL (BRASIL, 2021d);
- Guia eletrônico das opções de financiamento para as tecnologias priorizadas no projeto TNA_BRAZIL (BRASIL, 2021e).

A relevância da difusão de opções de financiamento de projetos baseados nos PATs reside na possibilidade de tais tecnologias permitirem alavancar a atividade econômica por meio do desenvolvimento sustentável, ou seja, utilizando tecnologias de baixo carbono que permitem reduzir a emissão de GEE. A ação torna-se ainda mais importante no atual contexto e para o futuro pós-pandemia, pois as informações são fundamentais para a implementação de projetos que dependem de financiamento nacional ou internacional, isso porque o projeto prioriza as tecnologias representativas das circunstâncias nacionais do país, e os organismos financiadores, como o GCF, requerem a chancela desta priorização para a liberação dos recursos.

Referências **Bibliográficas**



Referências bibliográficas

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (Brasil). Frota Geral – Analítica. Brasília: Antaq, 2019. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Portal/Frota/ConsultarFrotaGeral.aspx>. Acesso em: 4 maio 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Brasília: MMA, 2008. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf. Acesso em: 2 out. 2017.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília: Mapa, 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 11 maio 2017.

_____. Intended Nationally Determined Contribution: towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change. [S.l.]: [s.n.], 2015. Disponível em: <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Brazil/1/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2020.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação: 2016-2022. Brasília: MCTIC, 2016.

_____. _____. Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no Acordo de Paris. Brasília: MCTIC, 2017a. Disponível em: https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/09/26/TrajetoEbookb_final.pdf. Acesso em: 18 out. 2017.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para agricultura, florestas e outros usos do solo. Brasília: MCTIC, 2017b.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de alimentos e bebidas. Brasília: MCTIC, 2017c.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de cerâmica. Brasília: MCTIC, 2017d.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de cimento. Brasília: MCTIC, 2017e.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de ferro-gusa e aço. Brasília: MCTIC, 2017f.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de ferroligas. Brasília: MCTIC, 2017g.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de metalurgia de metais não ferrosos. Brasília: MCTIC, 2017h.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de mineração e pelotização. Brasília: MCTIC, 2017i.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de outras indústrias. Brasília: MCTIC, 2017j.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de papel e celulose. Brasília: MCTIC, 2017k.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor químico. Brasília: MCTIC, 2017l.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor têxtil. Brasília: MCTIC, 2017m.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de biocombustíveis. Brasília: MCTIC, 2017n.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de fontes renováveis de geração elétrica. Brasília: MCTIC, 2017o.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de óleo e gás natural. Brasília: MCTIC, 2017p.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de termelétricas e termonucleares. Brasília: MCTIC, 2017q.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de transportes. Brasília: MCTIC, 2017r.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de edificações. Brasília: MCTIC, 2017s.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos. Brasília: MCTIC, 2017t.

_____. _____. Opções transversais para mitigação de emissões de gases de efeito estufa: captura, transporte e armazenamento de carbono. Brasília: MCTIC, 2017u.

_____. _____. Opções transversais para mitigação de emissões de gases de efeito estufa: redes inteligentes. Brasília: MCTIC, 2017v.

_____. _____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de agricultura, florestas e outros usos do solo. Brasília: MCTIC, 2017w.

_____. _____. Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono. Brasília: MCTIC; ONU Meio Ambiente, 2017x.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. Brasília: MMA, 2017y. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/616?ltemid=1155>. Acesso em: 2 out. 2017.

_____. _____. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado. Brasília: MMA, 2017z. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/618?ltemid=1157>. Acesso em: 2 out. 2017.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Sistema de Registro Nacional de Emissões. Cenários de mitigação/base de dados de tecnologias de baixo carbono. Brasília: MCTIC, 2018b. Disponível em: https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/paineis/2018/08/24/Opcoes_de_Mitigacao_de_Emissoes_de_Gases_de_Efeito_Estufa.html. Acesso em: 11 jan. 2021.

_____. Ministério da Fazenda. Programa País do Brasil para o Fundo Verde do Clima – GCF. Brasília: MF, 2018a.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Ministério da Economia. Plano de Ação da Câmara Brasileira da Indústria 4.0 do Brasil 2019-2022. Brasília: MCTI; ME, 2019a. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Camara_I40__Plano_de_Acao_Camara_brasileira.pdf. Acesso em: 23 set. 2020.

_____. Ministério de Minas e Energia. Renovabio. Brasília: MME, 2019b. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-bio-combustiveis/renovabio>. Acesso em: 15 mar. 2021.

_____. Presidência da República. Decreto nº 10.052, de 9 de outubro de 2019. Institui a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão e Digital. Diário Oficial

da União, Brasília, 2019c. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D10052.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2010.052%2C%20DE%209,que%20Ihe%20confere%20o%20art. Acesso em: 4 set. 2020.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Portaria MCTI nº 3.206, de 25 de agosto de 2020. Institui, no âmbito da Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, a Iniciativa Regenera Brasil e o respectivo Comitê Gestor. Brasília: MCTI, 2020a. Disponível em: http://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTI_n_3206_de_25082020.html. Acesso em: 17 set. 2020.

_____. Decreto nº 10.531, de 26 de outubro de 2020. Institui a Estratégia Federal de Desenvolvimento para o Brasil no período de 2020 a 2031. Diário Oficial da União, Brasília, 2020b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.531-de-26-de-outubro-de-2020-285019495>. Acesso em: 13 nov. 2020.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Sumário Executivo. Brasília: MCTIC, 2021a.

_____. _____. Planos de ação tecnológica para os setores do sistema energético, agricultura, florestas e outros usos da terra. Brasília: MCTIC; Pnuma, 2021b.

_____. _____. Planos de ação tecnológica para os setores do sistema energético, agricultura, florestas e outros usos da terra – Sumário Executivo. Brasília: MCTIC; Pnuma, 2021c.

_____. _____. Diretrizes de financiamento para as tecnologias e plano de ação tecnológica do projeto TNA_BRAZIL. Brasília: MCTIC, 2021d. Disponível em: http://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/tna_brazil/tna_brazil.html. Acesso em: 26 jan. 2021.

_____. _____. Guia eletrônico das opções de financiamento para as tecnologias priorizadas no projeto TNA_BRAZIL. Brasília: MCTIC, 2021e. Disponível em: http://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/tna_brazil/tna_brazil.html. Acesso em: 26 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; FINEP – FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. Seleção Pública MCTI/Finep/FN-DCT. Subvenção Econômica à Inovação – 04/2020: Tecnologias 4.0. Brasília: MCTI; Finep, 2020. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/chamadas-publicas/2020/16_06_2020_Edital_Subvencao_4_0.pdf. Acesso em: 23 set. 2020.

DE CONINCK, H.; SAGAR, A. Technology in the 2015 Paris Climate Agreement and beyond. Geneva: International Centre for Trade and Sustainable Development, 2015. (ICTSD Issue, n. 42).

- FARIA, M. **Biogás produzido em aterros sanitários – aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético**. 2017. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- HASELIP, J.; NARKEVIČIŪTĖ, R.; ROGAT, J. **A step-by-step guide for countries conducting a Technology Needs Assessment**. Copenhagen: Unep DTU, 2015. (TNA Project).
- HUGHES, L. **Quantifying energy security: an analytic hierarchy process approach**. Dubrovnik: SDEWES, 2009.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2018: towards cross-modal electrification**. Paris: IEA, 2018.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Genebra: IPCC, 2006. v. 5.
- LORD, M.; JONES, A.; SHARMA, K. **Beyond Zero Emissions: Zero Carbon Industry Plan – Rethinking Cement**. 1st ed. Victoria: Beyond Zero Emissions Inc., 2017.
- OLSEN, O. E.; ENGEN, O. A. Technological change as a trade-off between social construction and technological paradigms. *Technology in Society*, v. 29, n. 4, p. 456-468, 2007.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. 2nd ed. London: Springer, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>. Acesso em: 22 abr. 2021.
- SILVA, F. P. F. **Vulnerabilidade dos países exportadores de petróleo à sua própria riqueza: o caso dos países-membros da Opep**. 2018. Monografia (Pós-graduação em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- UN – UNITED NATIONS. **About the Sustainable Development Goals**. New York: UN, 2020. Disponível em: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Acesso em: 8 dez. 20.
- UNITED STATES. U.S. Department of Defense. **Technology Readiness Assessment Guide**. Washington: DoD, 2011.

Apêndices



APÊNDICE I – MEMBROS DO CTC E ESPECIALISTAS DAS CS DO PROJETO TNA_BRAZIL

NOME	INSTITUIÇÃO
COMITÊ TÉCNICO CONSULTIVO	
Luís Fernando Badanhan	Ministério de Minas e Energia
Sérgio Ferreira Cortizo	Ministério de Minas e Energia
Mário Henrique Rodrigues Mendes	Ministério do Meio Ambiente
Délio Noel Gomes de Carvalho	Ministério do Meio Ambiente
Gustavo Saboia Fontenele e Silva	Ministério da Economia
Fábio Sakatsume	Ministério da Economia
Katia Marzall	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Eleneide Doff Sotta	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Raquel Breda dos Santos	Autoridade Nacional Designada para o GCF – Ministério da Economia
Ronan Luiz da Silva	Autoridade Nacional Designada para o GCF – Ministério da Economia
Fernando Araldi	Ministério do Desenvolvimento Regional
Danielle Costa de Holanda	Ministério do Desenvolvimento Regional
Gustavo Barbosa Mozzer	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Maria José Amstalden Moraes Sampaio	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Rodrigo Vellardo Guimarães	Empresa de Pesquisa Energética
Mariana Lucas Barroso	Empresa de Pesquisa Energética
Fillipe Augusto da Costa Garcia	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Joana Borges da Rosa	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Davi Bomtempo	Confederação Nacional da Indústria
Marcos Vinícius Cantarino	Confederação Nacional da Indústria
Rodrigo Rodrigues de Fonseca	Financiadora de Estudos e Projetos
Felipe Arias Fogliano de Souza Cunha	Financiadora de Estudos e Projetos
Márcio Rojas da Cruz	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Sonia Regina Mudrovitsch de Bittencourt	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Antônio Marcos Mendonça	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Régis Rathmann	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Cibele Dutra de França	Ministério da Infraestrutura
CÂMARA SETORIAL DE AGRICULTURA, FLORESTAS E OUTROS USOS DA TERRA	
Rodrigo Lima	Agroicone
Bernardo Rudorff	Agrosatelite Geotecnologia Aplicada
Julio Cesar Minelli	Associação de Produtores de Biocombustíveis
Nelson Ananias Filho	Confederação Nacional da Agricultura
Eduardo Assad	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Mariano Cenamo	Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Amazônia
Jean Pierre Ometto	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Claudio Almeida	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Felipe Lenti	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

continua

continuação

NOME	INSTITUIÇÃO
Julia Shimbo	MapBiomas
Carlos Nobre	Universidade de São Paulo
Paulo Artaxo	Universidade de São Paulo
Viviane Romeiro	World Resources Institute
CÂMARA SETORIAL DA INDÚSTRIA E ENERGIA	
Valéria Lima	Associação Brasileira do Alumínio
Fernando Zancan	Associação Brasileira do Carvão Mineral
Marina Mattar	Associação Brasileira de Indústria Química
Stefan Jacques David	Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
Rodrigo Lopes Sauaia	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
Stephanie Betz	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
Ivonicé Campos	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
Maria Fernanda Pelizzon Garcia	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Marcelo Poppe	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Bárbara Bressan	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Rafaele Lebani	Companhia Paulista de Força e Luz
Nivalde de Castro	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Roberto Musser	Light
Andrea Galhego	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
Ana Toni	Instituto Clima e Sociedade
Maurício Henriques Jr.	Instituto Nacional de Tecnologia
Denise Alho	Petrobras
Gonzalo Visedo	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
Edmilson Moutinho dos Santos	Universidade de São Paulo
Oswaldo Lucon	Universidade de São Paulo
Lucila Caselato	Instituto Aço Brasil
CÂMARA SETORIAL DE TRANSPORTES, RESÍDUOS E EDIFICAÇÕES	
José Antonio Sena do Nascimento	Centro de Tecnologia Mineral
Maria Fernanda Pelizzon Garcia	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Marcelo Poppe	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Bárbara Bressan	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Patrícia Boson	Confederação Nacional dos Transportes
Erica Vieira Marcos	Confederação Nacional dos Transportes
Priscila Bernardes Alvares	Confederação Nacional de Municípios
Karla França	Confederação Nacional de Municípios
Bruna Cerqueira	Governos Locais pela Sustentabilidade
Ana Toni	Instituto Clima e Sociedade
Renata Nascimento Szczerbacki	Petrobras
Márcio D'Agosto	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Suzana Kahn Ribeiro	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Dominique Mouette	Universidade de São Paulo
Edmilson Moutinho dos Santos	Universidade de São Paulo
Oswaldo Lucon	Universidade de São Paulo

Elaboração do autor.

APÊNDICE II – MEMBROS DO CTC, ESPECIALISTAS DAS CS E CONVIDADOS ENVOLVIDOS NA ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE TECNOLOGIAS DO PROJETO TNA_BRAZIL

NOME	INSTITUIÇÃO
Cláudio Almeida	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Júlio Minelli	Associação de Produtores de Biocombustíveis
Fernando Luiz Zancan	Associação Brasileira do Carvão Mineral
Jean Pierre Ometto	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Marco Aurélio Araújo	Ministério da Economia
Maria Fernanda Pelizzon Garcia	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Oswaldo Lucon	Universidade de São Paulo
Roberto Zecchini Cantinho	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Rodrigo Braga	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Rodrigo Costa	Agroicone
Stephanie Betz	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
Maurício Francisco Henriques Jr.	Instituto Nacional de Tecnologia
Marcelo Poppe	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Mauro Meirelles Oliveira dos Santos	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Viviane Romeiro	World Resources Institute
Patricia Bosen	Confederação Nacional dos Transportes
Erica Vieira Marcos	Confederação Nacional dos Transportes
Marco Aurélio Araújo	Ministério da Economia
Raphael Stein	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Sérgio Ferreira Cortizo	Ministério de Minas e Energia
Fernando Araldi	Ministério do Desenvolvimento Regional
Joana Borges Rosa	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Mário Henrique Mendes	Ministério do Meio Ambiente
Délio Noel Gomes Carvalho	Ministério do Meio Ambiente
Katia Marzall	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Sonia Regina Bittencourt	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Fillipe Augusto da Costa Garcia	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Antônio Marcos Mendonça	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Daniela Merlo	Caixa
Eleneide Sotta	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Moreno de Macedo	Caixa
Euler Lage	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Gustavo Barbosa Mozzer	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Mariana Barroso	Empresa de Pesquisa Energética

continua

continuação

Luis Fernando Badanhan	Ministério de Minas e Energia
Márcio Rojas da Cruz	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Felipe A. F. de Souza Cunha	Financiadora de Estudos e Projetos
Rodrigo Rodrigues Fonseca	Financiadora de Estudos e Projetos
Marcus Vinicius Cantarino	Confederação Nacional da Indústria
Davi Bomtempo	Confederação Nacional da Indústria
Raquel Breda dos Santos	Ministério da Economia
Ronan Luiz da Silva	Ministério da Economia
Maria José A. M. Sampaio	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Rodrigo Vellardo Guimarães	Empresa de Pesquisa Energética
Danielle Costa Holanda	Ministério do Desenvolvimento Regional
Felipe Lenti	Instituto de Pesquisas da Amazônia
Barbara Bressan	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Danielly Godiva Santana Molleta	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Dominique Mouette	Universidade de São Paulo
Edmilson Moutinho dos Santos	Universidade de São Paulo
Fabio Sakatsume	Ministério da Economia
Giovana Dalpont	Associação Brasileira do Carvão Mineral
Giovanna Lunkmoss de Christo	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Lidiane Melo	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Lucila Caselato	Instituto Aço Brasil
Marcela Aboim Raposo	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
Giampaolo Queiroz Pellegrino	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Régis Rathmann	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Elaboração do autor.

APÊNDICE III – FICHAS DE PONTUAÇÃO POR MACROCRITÉRIOS E INDICADORES DAS TECNOLOGIAS DOS SETORES DO SISTEMA ENERGÉTICO, AGRICULTURA, FLORESTAS E OUTROS USOS DA TERRA

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
LEITO FLUIDIZADO AVANÇADO (INDUSTRIAL/CIMENTO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	Há plantas com escala de demonstração no Japão e na China, de 200 e 1.000 toneladas por dia, respectivamente, o que corresponde a um nível de maturidade tecnológica (TRL) 8 (1).	
	Potencial de mitigação	1
	O potencial de mitigação calculado foi de 3.143 Gg de CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 1 da faixa estabelecida. Refere-se à redução de 20% das emissões energéticas da indústria do cimento no ano de referência, conforme estimado em (1).	
	Custo de mitigação	5
	De acordo com (2), a adoção desta tecnologia tem o potencial de reduzir os custos de capital e de operação em 21% e 26%, respectivamente. Assim, a opção apresenta um custo negativo de abatimento.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	O emprego desta tecnologia representa uma redução de cerca de 30% das emissões do poluente NO ₂ (1).	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	Verifica-se uma redução de 300 MJ/t de cimento da demanda por energia térmica no processo. Porém, há uma elevação de 9 kWh/t de cimento (cerca de 33 MJ/t) no consumo de eletricidade (1). Assim, a depender da eficiência de conversão termelétrica assumida, a tecnologia pode representar tanto um aumento quanto uma redução da disponibilidade de energia para a sociedade, de sorte que se considerou a tecnologia como neutra para este indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A redução de custos que a tecnologia proporciona em relação ao processo convencional representa um aumento da produtividade do capital instalado, ou seja, uma elevação do valor adicionado, o que indica potencial geração de renda para a sociedade.	
	Vantagens competitivas do Brasil	1
	O estado da arte da tecnologia hoje em dia é desenvolvido em países da Ásia (Japão e China) (1). Além disso, não foram identificados grupos de pesquisa brasileiros que estudem atualmente a tecnologia ou sua menção em planos do setor de cimento do Brasil (3).	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) 2016-2022	3
	Não há menções diretas da tecnologia no documento que detalha a estratégia. Porém, entende-se que há um breve ponto de sinergia, no sentido em que sua adoção pode representar uma oportunidade de transferência tecnológica para o Brasil (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia nos textos que compõem o rol da política climática nacional, mas se entende que há um breve ponto de sinergia com a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), cujo documento inclui a promoção de eficiência energética na indústria (5).	
	Sinergias com o Programa País para o Fundo Verde para o Clima (GCF)	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia no documento do Programa País para o GCF, do Brasil, mas é feita referência à promoção da eficiência energética na indústria, o que denota a existência de uma sinergia mínima da tecnologia com o plano (6).	
	Arcabouço institucional	2
	O fato de se tratar de uma tecnologia estrangeira leva à necessidade de importação do pacote tecnológico, o que apresenta grandes problemas de ordem burocrática, de acordo com a visão do setor (7). Ademais, a mudança tecnológica envolve a substituição de um equipamento instalado nas plantas (forno rotativo), o que apresenta barreiras de financiamento – que são parcialmente sanadas por linhas de crédito do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para aquisição de bens de capital (Finem) (8) –, e, possivelmente, barreiras de capacitação para operação do novo equipamento.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CIMENTO GEOPOLIMÉRICO (INDUSTRIAL/CIMENTO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	Cimentos geopoliméricos são considerados uma tecnologia madura, tendo classificação de nível de TRL 9 (9). Há, inclusive, uma empresa comercializando cimento geopolimérico no Brasil (10). Portanto, atribui-se nota 5 para a tecnologia no indicador.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 25.771 Gg de CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Considerou-se uma redução de 65% das emissões da indústria de cimento no ano de referência, valor médio da faixa indicada em (11).	
	Custos	1
	Há, na literatura, diferentes estimativas de custo de abatimento para o cimento geopolimérico, desde valores negativos, isto é, menores custos de produção em relação ao cimento Portland (9, 12), a custos na faixa de 50 US\$/tCO ₂ (13). Entretanto, em uma consulta a um fornecedor nacional de cimento geopolimérico, obteve-se um orçamento de dez a 15 vezes superior ao uso do cimento Portland para o mesmo serviço, o que representa um custo de abatimento superior a 3.000 US\$/tCO ₂ evitado, conforme premissas deste estudo. Assim, adotou-se conservadoramente a faixa 1 para a tecnologia neste indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	4
Concretos de cimento geopolimérico, em geral, apresentam características superiores ao cimento Portland tradicional em termos de resistência a altas temperaturas (14), o que é um elemento construtivo importante para a resiliência de objetos, equipamentos ou edificações frente à ocorrência de eventos climáticos extremos que resultem em incêndios. Outrossim, dado que o tempo de endurecimento do concreto de cimento geopolimérico é inferior ao convencional (14), o uso da tecnologia pode reduzir o tempo de reparo de uma rede logística danificada por eventos extremos (por exemplo: rodovias, ferrovias, pistas de aeroportos). Assim, a tecnologia foi considerada como boa para o indicador, obtendo nota 4.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Cimentos geopoliméricos podem ser produzidos a partir de resíduos de processos industriais, como cinzas de combustíveis de termelétricas, escória de alto-forno (siderurgia), cuja disposição gera danos ao meio ambiente (14, 15). Pesquisas avaliam ainda o uso de lamas de processos de mineração, atualmente dispostas em barragens, para a produção de cimento geopolimérico (16, 17). Desta forma, a tecnologia foi considerada como positiva para o indicador, obtendo nota 4.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	A razão entre a água captada e o uso de cimento para o ano de 2016 informada em (18) foi de 0,188 m ³ /t. Em (19), porém, destaca-se que o consumo virtual de água pode chegar a ser mais de dez vezes superior ao consumo direto do recurso em uma indústria de cimento Portland, sobretudo em razão da intensa queima de combustíveis fósseis. Logo, com a redução da demanda de energia, o cimento geopolimérico auxilia também na redução do consumo de água. Assim, a tecnologia foi considerada como positiva e recebeu nota 4 neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	4
De acordo com o Guia Metodológico para Avaliação de Impacto da Indústria de Cimento na Biodiversidade, do Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD, do inglês World Business Council for Sustainable Development), ações que resultem em desmatamento, construção de estruturas auxiliares e de pátios de operação têm impacto negativo em BD, enquanto a recuperação de áreas de mineração, a proteção de zonas de valor de biodiversidade, a restauração ecológica, as ações focadas em espécies e a criação de novos <i>habitat</i> após a atividade de mineração são positivas para biodiversidade (20). Assim, se o cimento GP for produzido a partir de resíduos de processos de mineração ou de outros que gerem passivos ambientais, é potencialmente benéfico à biodiversidade. Com isso, a tecnologia foi considerada como positiva para o indicador, recebendo nota 4.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Há uma redução de cerca de 59% no consumo de energia térmica para a produção do cimento geopolimérico em relação à síntese do cimento Portland (11). Assim, a tecnologia foi considerada como positiva para este indicador, tendo recebido nota 4.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	Não foram encontrados estudos comparativos entre a intensidade de mão de obra da produção de cimento geopolimérico e de cimento Portland, sendo que a cadeia de empregos a jusante do processo de produção é semelhante para os dois produtos. Assim, assumiu-se a tecnologia como neutra para este indicador, tendo sido atribuída nota 3.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	Em termos de fatores de produção, o Brasil tem abundância de matéria-prima para produção de cimento geopolimérico, sobretudo se considerados os resíduos de mineração. Universidades federais do estado de Minas Gerais (Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP e Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG) estão estudando a produção de cimento geopolimérico de rejeitos de mineração de ferro (16, 17).	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada no documento. Porém, o fomento à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação em materiais, com foco na agregação de valor, no incremento de competitividade e na redução da dependência externa, é proposto no âmbito da Estratégia Nacional para a Manufatura Avançada, o que contempla essa tecnologia (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A substituição de materiais é apontada na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) como uma opção de mitigação para o setor industrial, mas de forma genérica (21). Os demais instrumentos de política climática avaliados não mencionam a substituição de materiais.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada no Programa País para o GCF. No entanto, entre os eixos temáticos e as áreas de investimentos propostos, figura a infraestrutura sustentável, que poderia abranger essa tecnologia.	
	Arcabouço institucional	2
	Faltam especificações para o material, mas os resultados de diversos estudos indicam que concretos geopoliméricos devem ter desempenho pelo menos similar ao concreto de cimento Portland em testes para as especificações existentes (14, 16, 22, 23).	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
MATERIAIS INOVADORES PARA CIMENTO (INDUSTRIAL/CIMENTO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	Há diversos materiais à base de cimento que emitem menos CO ₂ em seu processo produtivo em comparação ao cimento Portland, em diferentes níveis de prontidão tecnológica. Os cimentos Aether e Solidia são classificados com TRL 9, enquanto, para o cimento Celitement, o TRL varia entre 4 e 5 (9). Assim, para contemplar os produtos com estágio de maturidade mais avançados, mas mantendo a premissa de que ainda há outros materiais com necessidades de desenvolvimento tecnológico, a tecnologia é classificada como nota 4 neste indicador. Esse é o caso da aplicação de materiais cimentícios suplementares para produção de cimento, sendo necessário realizar testes experimentais de adição destes com vistas a uma proporção limitada de 50% de clínquer em volume ao cimento.	
	Potencial de mitigação	3
	Considerando um potencial de emissão médio entre os materiais apontados em (11), o potencial de mitigação obtido foi de 13.877 Gg de CO ₂ ao ano, qualificando a tecnologia para a nota 3 da faixa de potenciais estabelecida.	
	Custos	4
	De acordo com (9, 13), há cimentos alternativos, como o Aether, que possuem custo similar ao cimento Portland (custo de abatimento zero), e outros, como o Solidia, que até são mais baratos que o cimento Portland convencional (custo de abatimento negativo). Assim, conservadoramente, atribuiu-se nota 4 a esta tecnologia no indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
As inovações em cimento para fins de mitigação, em geral, objetivam substituir o clínquer mantendo a qualidade do aglomerante (9). Naturalmente, por se tratar de inovações, alguns desses materiais obtêm melhores propriedades do que o cimento Portland, mas, conservadoramente, atribuiu-se a neutralidade neste indicador para a tecnologia (nota 3), considerando que o único benefício das inovações é a mitigação de emissões.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Materiais inovadores alternativos ao cimento Portland que objetivam a mitigação de emissões, em geral, possuem como estratégia a redução do uso de clínquer (9), cuja produção nos fornos de calcinação é fonte de emissões de poluentes atmosféricos, como material particulado, SO ₂ e NO _x (24–27) (NO _x). Assim, reduzindo-se o teor de clínquer na indústria do cimento, é esperada uma diminuição nas emissões de poluentes atmosféricos. Portanto, a tecnologia recebeu nota 4 no indicador.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	A razão entre a água captada e o uso de cimento para o ano de 2016 informada em (18) foi de 0,188 m ³ /t. Em (19), porém, destaca-se que o consumo virtual de água pode chegar a ser mais de dez vezes superior ao consumo direto do recurso em uma indústria de cimento Portland, sobretudo em razão da intensa queima de combustíveis fósseis. Logo, com a redução da demanda de energia no processo de produção, os materiais inovadores também devem auxiliar na diminuição do consumo de água. Assim, a tecnologia foi considerada como positiva e recebeu nota 4 neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	4
De acordo com o Guia Metodológico para Avaliação de Impacto da Indústria de Cimento na Biodiversidade, do WBCSD, ações que resultem em desmatamento, construção de estruturas ancilares e de pátios de operação têm impacto negativo em BD, enquanto a recuperação de áreas de mineração, a proteção de zonas de valor de BD, a restauração ecológica, as ações focadas em espécies e a criação de novos <i>habitat</i> após a atividade de mineração são positivas para biodiversidade (20). Assim, considerando inovações que produzam aglomerantes a partir de resíduos de processos industriais, a alternativa é potencialmente benéfica à biodiversidade. Com isso, a tecnologia foi considerada como positiva para o indicador, recebendo nota 4.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Ao substituir o clínquer por outros materiais, reduz-se a demanda de energia térmica oriunda da etapa de calcinação (9, 11, 13). Assim, a tecnologia recebeu nota 4 no indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	Considerando que não há mudanças na cadeia de uso destes materiais, a tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Vantagens competitivas do Brasil	2
	Os materiais inovadores considerados são atualmente desenvolvidos em outros países. Apesar disso, as grandes empresas de cimento financiadoras dos principais produtos operam no Brasil, como a LafargeHolcim, que está por trás do desenvolvimento do cimento Aether. Ademais, a indústria de cimento nacional mostra-se comprometida com a inovação para melhores resultados ambientais, dada a recente publicação de um <i>roadmap</i> para a indústria de cimento brasileira (3). Portanto, a tecnologia recebeu nota 2 neste critério.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada no documento, mas, dado que está associada sobretudo a materiais que vêm sendo desenvolvidos em centros de pesquisa de outros países, o investimento da tecnologia no Brasil pode representar uma oportunidade de transferência tecnológica, que é ressaltada na ENCTI.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	2
	A substituição de materiais é apontada na PNMC como uma opção de mitigação para o setor industrial, mas de forma genérica. Os demais instrumentos de política climática avaliados não mencionam a substituição de materiais.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada no Programa País para o GCF. No entanto, entre os eixos temáticos e as áreas de investimentos propostos, figura a infraestrutura sustentável, que poderia abranger essa tecnologia.	
	Arcabouço institucional	1
Faltam especificações para os materiais, para definição precisa de suas aplicações construtivas. Também, a necessidade de importação dos materiais ou de componentes para produzi-los no Brasil é uma significativa barreira para a adoção da tecnologia no país.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
PLANTAS HÍBRIDAS SOLARES (INDUSTRIAL/CIMENTO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	1
	A tecnologia é atualmente classificada com TRL 3 (9), com a perspectiva de alcançar TRL 4 a TRL 5 no âmbito do projeto Solpart (28).	
	Potencial de mitigação	2
	De acordo com (29), ainda é cedo para estimativas de potencial de mitigação da tecnologia, mas (30) relata que especialistas consideraram a redução de 60% a 100% das emissões energéticas. Assim, conservadoramente adotando 60% das emissões energéticas, obteve-se um potencial de mitigação de 9.430 Gg de CO ₂ anuais, qualificando a tecnologia para a faixa de nota 2 do indicador.	
	Custos	1
	Dado o baixo grau de maturidade da tecnologia e o desconhecimento de uma estrutura real de seus custos de produção, considerou-se a tecnologia com nota 1 neste indicador, conservadoramente.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
	Impactos de mudanças do clima podem afetar a disponibilidade do recurso solar, aumentando o risco para a tecnologia CSP (31). Contudo, ressalta-se que o impacto de redução da eficiência decorrente de uma maior temperatura média da atmosfera global não deve afetar a produção de cimento como afeta a geração elétrica.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Ao substituir a queima de combustíveis pela energia solar concentrada para suprir a demanda térmica do processo, há uma redução das emissões dos poluentes atmosféricos oriundos do processo de combustão (24, 25, 27).	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	A queima de combustíveis fósseis é responsável por grande parte do consumo de água da indústria do cimento (19), de sorte que o uso da energia solar concentrada em substituição à combustão deve impactar positivamente o consumo de água da indústria.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Ao substituir a queima de combustíveis pelo uso de energia solar (28, 30), aumenta-se a disponibilidade destes para o restante da sociedade.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A introdução de um vetor inovador de aproveitamento de um recurso renovável na indústria do cimento cria uma nova cadeia de valor, devendo induzir a geração de diversos empregos diretos e indiretos, como observado no setor de energia (32, 33).	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	Atualmente, a vanguarda do conhecimento para essa tecnologia encontra-se em outros países (28). Além do mais, o <i>roadmap</i> da indústria de cimento brasileiro não inclui a tecnologia em seu escopo no curto prazo (3).	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	Não há menções diretas da tecnologia no documento que detalha a estratégia. Porém, entende-se que há um breve ponto de sinergia, no sentido em que sua adoção representa uma forma de aproveitamento da energia solar, citado como ponto estratégico no documento.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada nos documentos que compõem o rol da política climática nacional. Porém, o aproveitamento da energia solar assume papel central na NDC e na PNMC.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A tecnologia é explicitamente mencionada no documento como uma das opções que devem ser priorizadas para diversificação da matriz energética.	
	Arcabouço institucional	1
A mudança tecnológica envolve a substituição de um equipamento instalado nas plantas por uma inovação em baixo estágio de maturidade tecnológica, o que representa uma barreira de investimento e, sobretudo, de acesso a capital, dado o risco associado. Há também as barreiras de capacitação para operação do novo equipamento.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CAPTURA DE CO₂ (INDUSTRIAL/CIMENTO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	A tecnologia foi demonstrada pela empresa Norcem, no âmbito do projeto Cemcap, sendo classificada com TRL 8 (34), o que corresponde à nota 4 para o indicador.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 37.666 Gg de CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Considerou-se um potencial de captura de 95% do CO ₂ produzido na indústria do cimento (35).	
	Custos	1
	De acordo com (36), o custo de abatimento da captura com aminas é de cerca de 88 US\$/t CO ₂ , qualificando a tecnologia para a nota 1 da faixa de custo de mitigação estabelecida.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na disponibilidade de água	2
	O processo de captura de CO ₂ requer um consumo extra de água, água de resfriamento e vapor, aumentando a demanda hídrica da planta. Assim, a tecnologia recebeu nota 2 neste critério.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	1
	Há um considerável consumo parasítico da energia no processo de captura, sobretudo de vapor para regeneração do solvente (35, 37). Assim, a tecnologia recebeu nota 1 neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Espera-se a criação de uma nova cadeia de valor associada à captura e armazenamento de carbono (CCS), que deve induzir a geração de novos empregos. Assim, a tecnologia recebeu nota 4 neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	2
Não se observaram, no Brasil, projetos relevantes de captura de CO ₂ em plantas de cimento, além de que não há uma infraestrutura instalada adequada para a cadeia de CCS no país. Não obstante, a relevância da pesquisa e desenvolvimento sobre o tema é ressaltada no <i>roadmap</i> desenvolvido pelos agentes do setor (3).		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é diretamente citada no documento da estratégia. Porém, há um ponto de sinergia com o tema estratégico "clima" (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A NDC brasileira cita a promoção de novos padrões de tecnologias limpas e infraestrutura sustentável no setor industrial como uma de suas medidas (5), o que representa um ponto de sinergia com a cadeia de CCS.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é diretamente citada no documento. Porém, é verificado um eixo estratégico de infraestrutura sustentável (6), que poderia incluir a cadeia de CCS.	
	Arcabouço institucional	1
No Brasil, atualmente, há diversas lacunas regulatórias sobre a cadeia do CCS, sobretudo na atribuição de responsabilidade sobre o gás em cada etapa da estrutura produtiva (38). Além disso, não há, no país, uma infraestrutura de transporte do CO ₂ , o que prejudica o processo logístico do gás (35). Também não há políticas de incentivo à mitigação das emissões em vigor, o que torna a operação um ônus sem nenhum retorno aos investidores.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SISTEMAS DE ENRIQUECIMENTO COM OXIGÊNIO (INDUSTRIAL/CIMENTO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	De acordo com (34), a tecnologia possui um grau de maturidade intermediário entre TRL 4 e TRL 5, o que a qualifica para nota 2 da faixa estabelecida.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 37.666 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Considerou-se um potencial de captura de 95% do CO ₂ produzido na indústria do cimento (35).	
	Custos	2
	De acordo com (36), o custo de abatimento da captura com aminas é de cerca de 47 US\$/t CO ₂ , qualificando a tecnologia para a nota 2 da faixa de custo de mitigação estabelecida.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na disponibilidade de água	2
	O processo de captura de CO ₂ requer um consumo extra de água, água de resfriamento e vapor, aumentando a demanda hídrica da planta. Assim, a tecnologia recebeu nota 2 neste critério.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	2
	Há consumo de energia extra específico para o processo de captura, porém muito inferior à tecnologia mais desenvolvida (captura com aminas) (37). Portanto, a tecnologia recebeu nota 2 neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Espera-se a criação de uma nova cadeia de valor associada ao CCS, que deve induzir a geração de novos empregos. Assim, a tecnologia recebeu nota 4 neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
	A tecnologia oxyfuel tem experiência de aplicação-piloto no Brasil na Unidade de Craqueamento Catalítico da Unidade de Industrialização do Xisto (SIX) da Petrobras, no Paraná (39). Não se observaram, no país, no entanto, projetos relevantes de captura de CO ₂ em plantas de cimento especificamente, além de que não há uma infraestrutura instalada adequada para a cadeia de CCS. Não obstante, a relevância da pesquisa e desenvolvimento sobre o tema é ressaltada no roadmap desenvolvido pelos agentes do setor (3).	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é diretamente citada no documento da estratégia. Porém, há um ponto de sinergia com o tema estratégico "clima" (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A NDC brasileira cita a promoção de novos padrões de tecnologias limpas e infraestrutura sustentável no setor industrial como uma de suas medidas (5), o que pode contemplar a cadeia de CCS.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é diretamente citada no documento. Porém, é verificado um eixo estratégico de infraestrutura sustentável (6), que poderia incluir a cadeia de CCS.	
	Arcabouço institucional	1
	No Brasil, atualmente, há diversas lacunas regulatórias sobre a cadeia do CCS, sobretudo na atribuição de responsabilidade sobre o gás em cada etapa da estrutura produtiva (38). Além disso, não há, no país, uma infraestrutura de transporte do CO ₂ , o que prejudica o processo logístico do gás (35). Também não há políticas de incentivo à mitigação das emissões em vigor, o que torna a operação um ônus sem nenhum retorno aos investidores.	

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CHEMICAL LOOPING (INDUSTRIAL/CIMENTO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	De acordo com (34), a tecnologia possui um grau de maturidade intermediário entre TRL 4 e TRL 5, o que a qualifica para nota 2 da faixa estabelecida.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 37.666 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Considerou-se um potencial de captura de 95% do CO ₂ produzido na indústria do cimento (35).	
	Custos	3
	De acordo com (36), o custo de abatimento da captura com aminas é de cerca de 47 US\$/t CO ₂ , qualificando a tecnologia para a nota 2 da faixa de custo de mitigação estabelecida.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na disponibilidade de água	2
	O processo de captura de CO ₂ requer um consumo extra de água, água de resfriamento e vapor, aumentando a demanda hídrica da planta. Assim, a tecnologia recebeu nota 2 neste critério.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	2
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	2
	Há consumo de energia extra específico para o processo de captura, porém muito inferior à tecnologia mais desenvolvida (captura com aminas) (37). Portanto, a tecnologia recebeu nota 2 neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	2
	Espera-se a criação de uma nova cadeia de valor associada ao CCS, que deve induzir a geração de novos empregos. Assim, a tecnologia recebeu nota 4 neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	2
	Não se observaram, no Brasil, projetos relevantes de captura de CO ₂ em plantas de cimento, além de que não há uma infraestrutura instalada adequada para a cadeia de CCS no país. Não obstante, a relevância da pesquisa e desenvolvimento sobre o tema é ressaltada no <i>roadmap</i> desenvolvido pelos agentes do setor (3).	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é diretamente citada no documento da estratégia. Porém, há um ponto de sinergia com o tema estratégico "clima" (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A NDC brasileira cita a promoção de novos padrões de tecnologias limpas e infraestrutura sustentável no setor industrial como uma de suas medidas (5), o que pode contemplar a cadeia de CCS.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é diretamente citada no documento. Porém, é verificado um eixo estratégico de infraestrutura sustentável (6), que poderia incluir a cadeia de CCS.	
	Arcabouço institucional	1
	No Brasil, atualmente, há diversas lacunas regulatórias sobre a cadeia do CCS, sobretudo na atribuição de responsabilidade sobre o gás em cada etapa da estrutura produtiva (38). Além disso, não há, no país, uma infraestrutura de transporte do CO ₂ , o que prejudica o processo logístico do gás (35). Também não há políticas de incentivo à mitigação das emissões em vigor, o que torna a operação um ônus sem nenhum retorno aos investidores.	

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
EMPREGO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS (INDUSTRIAL/QUÍMICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	O relatório do governo britânico sobre descarbonização da indústria (40) destaca a tecnologia de separação por membranas com um grau de maturidade variando entre TRL 3 e TRL 5. Assim, conferiu-se nota 2 à tecnologia no indicador.	
	Potencial de mitigação	1
	O potencial de mitigação calculado foi de 1.351 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 1 da faixa estabelecida. Considerou-se uma redução de 8% das emissões totais do setor químico (41).	
	Custos	1
	Não se obtiveram valores de custos precisos para a tecnologia. Assim, dado seu baixo nível de maturidade, foi atribuída nota mínima à tecnologia no indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na disponibilidade de água	5
	Uma das mais importantes aplicações de processos de separação com membranas, atualmente, é para o tratamento de água (41). Assim, seu desenvolvimento para fins de mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) pode repercutir positivamente neste aspecto, seja por induzir inovações que possam ser apropriadas para este fim, seja por alavancar a indústria de componentes comuns e permitir reduções nos custos. Portanto, atribuiu-se nota 5 à tecnologia neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia visa à substituição de processos de separação energo-intensivos (40, 41), o que deve disponibilizar mais energia para o restante da sociedade. Com isso, recebeu nota 4 neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
	Os principais insumos para a produção de membranas são polímeros, oriundos da indústria petroquímica (42, 43). Assim, a consolidada indústria petroquímica do Brasil poderia fornecer os insumos necessários para uma cadeia industrial de produção de membranas. Em termos de competência nacional, há importantes laboratórios no país dedicados à pesquisa de processos de separação com membranas, como o Laboratório de Processos de Separação com Membranas e Polímeros (PAM), do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ), criado em 1968 e pioneiro na realização de atividades experimentais na instituição. Entretanto, os principais produtos comerciais que utilizam membranas para separação de processos atualmente são tecnologias desenvolvidas em outros países, como Alemanha e Estados Unidos (43). Assim, atribui-se nota 3 para a tecnologia no indicador.	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada no documento. Porém, é possível considerar um ponto de sinergia com o tema estratégico de energia, no qual se destaca como prioritária a busca pela eficiência no uso da energia em todos os setores (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia nos textos que compõem o rol da política climática nacional, mas se entende que há um breve ponto de sinergia com a NDC, cujo documento inclui a promoção de eficiência energética na indústria (5).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia no documento do Programa País para o GCF, do Brasil, mas é feita referência à promoção da eficiência energética na indústria, o que denota a existência de uma sinergia mínima da tecnologia com o plano (6).	
	Arcabouço institucional	3
A necessidade de troca constante do material, devido ao rápido desgaste (41), representa uma barreira técnico-econômica que repercute na confiança dos investidores industriais em substituir seus processos convencionais de separação pelo uso de membranas. Em termos de financiamento, investidores podem buscar recursos do BNDES por meio das linhas de crédito para aquisição de bens de capital – Finem (8).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CRAQUEAMENTO CATALÍTICO DA NAFTA (INDUSTRIAL/QUÍMICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	De acordo com (44), há uma planta de demonstração de craqueamento catalítico de nafta para produção de olefinas na China, o que confere à tecnologia um TRL 8. Assim, a nota da tecnologia para o indicador é 4.	
	Potencial de mitigação	1
	O potencial de mitigação calculado foi de 1.994 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 1 da faixa estabelecida. Considerou-se uma redução das emissões energéticas de 15% na indústria química (41).	
	Custos	5
	De acordo com (45), ao reduzir a demanda energética em relação ao processo térmico, o craqueamento catalítico da nafta é capaz de reduzir os custos da operação, podendo, assim, ser considerado como uma medida de custo de abatimento negativo.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Os ganhos de eficiência (44) representam uma menor queima de combustíveis, o que reduz potencialmente as emissões de gases poluentes.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	A substituição de um processo térmico que utiliza vapor para o craqueamento da nafta por um processo catalítico (44) deverá reduzir o consumo de água na operação.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	O aumento da eficiência energética em relação ao processo convencional (41, 44, 45) libera mais energia para o restante da sociedade.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
As plantas no estado da arte do processo são atualmente desenvolvidas em outros países. Contudo, o Brasil tem larga experiência em pesquisa, desenvolvimento e inovação na indústria petroquímica, sobretudo no âmbito do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes), complexo de pesquisa aplicada da Petrobras.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	Não há menções diretas da tecnologia no documento que detalha a estratégia. Porém, entende-se que há um breve ponto de sinergia, no sentido de que sua adoção pode representar uma oportunidade de transferência tecnológica para o Brasil (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia nos textos que compõem o rol da política climática nacional, mas se entende que há um breve ponto de sinergia com a NDC, cujo documento inclui a promoção de eficiência energética na indústria (5).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia no documento do Programa País para o GCF, do Brasil, mas é feita referência à promoção da eficiência energética na indústria, o que denota a existência de uma sinergia mínima da tecnologia com o plano (6).	
	Arcabouço institucional	3
A implementação da tecnologia na indústria brasileira demandaria investimentos em capital fixo, em razão da substituição dos equipamentos atualmente instalados. Investidores podem buscar crédito junto ao BNDES por meio das linhas de crédito Finem (8). Entretanto, visto que licenciadoras da tecnologia ainda estão em fase piloto no Brasil e não há perspectiva para adoção da tecnologia no curto prazo (41), o acesso ao crédito deve ser dificultado em razão do risco associado.		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
USO DE BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE OLEFINAS (INDUSTRIAL/QUÍMICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	Há, no Brasil, uma planta da empresa Braskem do chamado "eteno verde", que utiliza etanol de cana-de-açúcar para a produção de olefinas, em escala comercial (41, 44).	
	Potencial de mitigação	2
	O potencial de mitigação calculado foi de 7.524 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 2 da faixa estabelecida. Considerou-se um potencial de 2,4 t CO ₂ capturadas para cada t de eteno, principal olefina manufaturada no Brasil, produzida no ano-base (41).	
	Custos	2
	De acordo com (46), a diferença entre o custo de produção de bioeteno para o eteno petroquímico é, em média, de 90 US\$/t, considerando condições brasileiras. Assumindo um potencial de captura de 2,4 t CO ₂ a cada tonelada de eteno produzida, obtém-se um custo de abatimento de 37,5 US\$/t CO ₂ , qualificando a tecnologia para nota 2 segundo a faixa de valores adotada para o indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	1
	Ao utilizar biomassa como principal insumo, a tecnologia fica exposta aos riscos climáticos associados à fonte, como é o caso das quebras de safra associadas a eventos climáticos extremos (secas, inundações, geadas etc.) ou a reduções de produtividade dos cultivos agrícolas por mudanças nas condições climáticas (31).	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	Apesar de não terem sido encontrados estudos comparando diretamente os processos de obtenção de olefinas a partir de biomassa e petroquímica quanto ao uso de água, espera-se que a produção a partir da biomassa tenha um impacto maior na disponibilidade de água em termos da cadeia produtiva, visto que a agricultura é um dos setores mais demandantes de água no Brasil (47).	
	Impacto na produção de alimentos	2
	A depender do tipo de biomassa utilizada na produção das olefinas, pode haver competição pelo recurso com a produção de alimentos (46).	
	Impacto na biodiversidade	2
	O uso de <i>commodities</i> agrícolas cultivadas no modelo de monoculturas para a produção de olefinas deverá impactar negativamente a biodiversidade (48, 49).	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	2
	De acordo com (44), a produção de olefinas a partir da biomassa tem um aumento do consumo específico de energia de 3,5 a 5,0 vezes em relação ao processo petroquímico, apesar de usar menos energia fóssil.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	De acordo com (32), o setor de bioenergia brasileiro é o mais importante do mundo em termos de número de empregos. Extrapolando a tendência para a produção de biomateriais, a procura por biomassa induzida pela produção de olefinas deve ter impacto positivo na geração de emprego e renda.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	O Brasil possui grande vocação para a produção de biomateriais, dadas suas condições edafoclimáticas favoráveis, sua vocação como grande produtor agrícola e a sua experiência singular na produção de biocombustíveis (46). Em termos de experiência, a planta de produção de eteno a partir de etanol de cana-de-açúcar é uma tecnologia pioneira no mundo, cuja viabilidade econômica está associada diretamente à oferta do etanol de baixo custo e ao impacto ambiental produzido no país (46).	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	A produção de biomateriais é citada no documento da estratégia de uma maneira abrangente, mas sem menção direta à produção de olefinas (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A diretriz XV da nota técnica do programa RenovaBio cita diretamente a tecnologia: “estruturar medidas para o desenvolvimento de novos mercados para biocombustíveis, além do seu uso energético, tais como seu uso como insumo produtivo para fabricação de bioquímicos e bioplásticos” (50).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	A tecnologia não é explicitamente citada no programa, porém se nota um ponto de sinergia no que se refere às tecnologias em bioenergia, no eixo estratégico de infraestrutura sustentável (6).	
	Arcabouço institucional	4
O Brasil já conta com uma planta industrial de produção de olefinas a partir de etanol de cana-de-açúcar, cuja experiência pode servir de precedente a outros empreendimentos similares para eventuais investidores. Entretanto, faltam, no país, mecanismos que promovam a valorização das vantagens ambientais do biomaterial em relação ao produto da petroquímica, permitindo sua competitividade no mercado (41).		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
USO DE H₂ OBTIDO A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE AMÔNIA E METANOL (INDUSTRIAL/QUÍMICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	De acordo com (9), a tecnologia possui atualmente um TRL 7, qualificando-a para nota 3 na faixa proposta para o indicador.	
	Potencial de mitigação	1
	O potencial de mitigação calculado foi de 1.863 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 1 da faixa estabelecida. Representa uma redução de 100% das emissões de processo da produção de amônia e metanol no ano-base (41).	
	Custos	1
	De acordo com (44), o sobrecusto com eletricidade para produção de amônia a partir de H ₂ renovável pode chegar, no pior dos casos, a até 550 US\$/t, sendo a proporção de emissões de processo de 1 tonelada de CO ₂ para cada tonelada produzida de amônia (com H ₂ produzido pela reforma do gás natural). Assim, estima-se um custo de abatimento de 550 US\$/t CO ₂ , sendo dada nota 1 à tecnologia, de acordo com a faixa estabelecida para o indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	1
	Fontes renováveis de energia são muito mais impactadas por mudanças do clima do que a energia fóssil (31). Assim, a tecnologia mostra-se mais vulnerável às mudanças do clima do que a prática convencional.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	A troca da reforma a vapor de combustíveis fósseis por fontes de energias renováveis deve impactar positivamente a qualidade do ar, por eliminar as emissões de poluentes atmosféricos (51).	
	Impacto na disponibilidade de água	2
	Tanto o processo de reforma a vapor do gás natural quanto a eletrólise da água consomem água na reação química de produção do gás hidrogênio. Entretanto, a proporção estequiométrica de água para hidrogênio na eletrólise é o dobro da proporção para a reforma a vapor, o que denota, a priori, um maior consumo de água para a produção dos químicos a partir das fontes renováveis de energia em relação ao uso de combustíveis fósseis. Assim, o indicador foi classificado com a nota 2 para esta tecnologia.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	2
	De acordo com (41), a produção de amônia e metanol com H ₂ obtido a partir de fontes renováveis aumenta a demanda energética em relação aos processos convencionais em 26 e 16 GJ/t de produto, respectivamente.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	2
	O relatório da Agência Internacional para as Energias Renováveis (Irena, International Renewable Energy Agency) sobre empregos nesta indústria (32) mostra que, em média, as cadeias de produção baseadas em fontes renováveis são mais intensivas em mão de obra em comparação às cadeias de recursos fósseis. Além disso, também é qualitativamente previsto por (51) um impacto positivo na cadeia de empregos na substituição da produção de amônia e metanol via combustíveis fósseis por H ₂ eletrolítico de fontes renováveis. Assim, a tecnologia recebeu nota 4 no indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	2
	Em termos de recursos naturais, o Brasil possui um potencial privilegiado de energias eólica e solar, que poderia ser aproveitado para gerar H ₂ para a produção dos químicos. Contudo, em termos de competência nacional, é destacado por (52) que os investimentos brasileiros em pesquisas sobre tecnologias de hidrogênio entre 1999 e 2007 representaram cerca de um terço dos recursos investidos individualmente por países como Rússia, Índia, China e Coreia do Sul. Assim, atribuiu-se nota 2 para a tecnologia no indicador.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada no texto da estratégia. Porém, há um ponto de sinergia com o tema estratégico da bioeconomia, no qual são destacadas iniciativas referentes à química de renováveis, ou seja, produção de químicos com o uso de fontes renováveis de energia.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A substituição de materiais é apontada na PNMC como uma opção de mitigação para o setor industrial, mas de forma genérica (21). Os demais instrumentos de política climática avaliados não mencionam a substituição de materiais.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é explicitamente citada no programa, porém se nota um ponto de sinergia no que se refere às tecnologias em bioenergia, no eixo estratégico de infraestrutura sustentável (6).	
	Arcabouço institucional	2
	A geração de H ₂ renovável no Brasil, visando à produção de químicos, enfrenta a barreira de que não há fabricantes nacionais de equipamentos para eletrólise da água (52). Além disso, a implementação da tecnologia na indústria brasileira demandaria investimentos em capital fixo, em razão da substituição dos equipamentos atualmente instalados (41).	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CAPTURA DE CARBONO NA PRODUÇÃO DE AMÔNIA (INDUSTRIAL/QUÍMICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A separação do CO ₂ já integra o processo de produção da amônia (35). Assim, atribuiu-se nota 5 à tecnologia, visto que é uma prática adotada pela indústria.	
	Potencial de mitigação	1
	O potencial de mitigação calculado foi de 670 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 1 da faixa estabelecida. Representa a captura total do CO ₂ das emissões de processo da produção de amônia no Brasil após o aproveitamento do gás para a produção de ureia (35).	
	Custos	4
	De acordo com (35), o custo marginal de abatimento para o processo é inferior a 5 US\$/t CO ₂ capturada.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	De acordo com (35), praticamente não há processamento adicional do CO ₂ para a operação de captura neste processo. Assim, esta tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	Para este processo, há uma demanda incremental mínima de energia, apenas referente à compressão do CO ₂ à pressão adequada para a operação de transporte a jusante. Assim, a tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Espera-se a criação de uma nova cadeia de valor associada ao CCS, que deve induzir a geração de novos empregos. Assim, a tecnologia recebeu nota 4 neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil+	2
	Não se observaram, no Brasil, projetos relevantes de captura de CO ₂ em plantas de cimento, além de que não há uma infraestrutura instalada adequada para a cadeia de CCS no país.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é diretamente citada no documento da estratégia. Porém, há um ponto de sinergia com o tema estratégico "clima" (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A NDC brasileira cita a promoção de novos padrões de tecnologias limpas e infraestrutura sustentável no setor industrial como uma de suas medidas (5), o que pode contemplar a cadeia de CCS.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é diretamente citada no documento. Porém, é verificado um eixo estratégico de infraestrutura sustentável (6), que poderia incluir a cadeia de CCS.	
	Arcabouço institucional	1
No Brasil, atualmente, há diversas lacunas regulatórias sobre a cadeia do CCS, sobretudo na atribuição de responsabilidade sobre o gás em cada etapa da estrutura produtiva (38). Além disso, não há, no país, uma infraestrutura de transporte do CO ₂ , o que prejudica o processo logístico do gás (35). Também não há políticas de incentivo à mitigação das emissões em vigor, o que torna a operação um ônus sem nenhum retorno aos investidores.		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
REFORMA DOS GASES DE COQUERIA (INDUSTRIAL/SIDERURGIA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	Há notícia de uma planta-piloto da empresa sul-coreana Posco em desenvolvimento para a tecnologia (53).	
	Potencial de mitigação	3
	O potencial de mitigação calculado foi de 12.685 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 3 da faixa estabelecida. Considerou-se uma redução de 30% das emissões do alto forno (54).	
	Custos	1
	Não foram encontradas informações sobre custo de abatimento para a tecnologia. Porém, com o baixo grau de maturidade, assume-se o custo mais elevado da faixa estabelecida, conservadoramente.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	De acordo com (55, 56), o aproveitamento dos gases da coqueria pode representar um benefício na redução das emissões de gases poluentes.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	O aproveitamento de uma corrente energética residual do processo para produção do agente redutor, em substituição parcial da carga de coque, deverá apresentar impacto positivo na disponibilidade de energia a outros setores.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	1
	Por se tratar de uma tecnologia específica que está sendo desenvolvida em outros países, atribuiu-se nota 1 a este indicador.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada no documento. Porém, há um ponto de sinergia no contexto da "siderurgia limpa", incluída no tema de energia da estratégia (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia nos textos que compõem o rol da política climática nacional, mas se entende que há um breve ponto de sinergia com a NDC, cujo documento inclui a promoção de eficiência energética na indústria (5).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia no documento do Programa País para o GCF, do Brasil, mas é feita referência à promoção da eficiência energética na indústria, o que denota a existência de uma sinergia mínima da tecnologia com o plano (6).	
	Arcabouço institucional	1
	O baixo grau de conhecimento sobre a tecnologia é a principal barreira identificada para sua implantação em ambiente industrial, repercutindo em incertezas sobre o desempenho da planta, sobre os custos de investimento e operação e sobre a viabilidade física da instalação dos equipamentos em uma planta existente, dado que não há projetos executados que possam ser tomados como referência.	

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
RECUPERAÇÃO DE CALOR RESIDUAL DO FORNO ELÉTRICO A ARCO COM O USO DE CICLO RANKINE ORGÂNICO (INDUSTRIAL/SIDERURGIA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	Há ao menos uma planta siderúrgica de forno elétrico a arco que opera com recuperação de calor residual com tecnologia de Ciclo Rankine Orgânico em escala comercial, localizada na cidade de Riesa, na Alemanha (57).	
	Potencial de mitigação	1
	O potencial de mitigação calculado foi de 42 Gg de CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 1 da faixa estabelecida. Considerou-se a geração de 50 kWh/t de aço de eletricidade (54), substituindo parcialmente a energia elétrica importada da rede pela usina siderúrgica.	
	Custos	1
	Dado o custo nivelado de produção de eletricidade mais otimista apontado por (58), de 55 €/MWh, substituindo a eletricidade em uma rede com fator de emissão típico do Brasil, de cerca de 0,1 t de CO ₂ /MWh, o custo de abatimento da medida é estimado em aproximadamente 600 US\$/t CO ₂ , o que qualifica a tecnologia para a nota 1 na faixa de valores adotada para o indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	O aproveitamento de calor residual para a geração de parte da eletricidade utilizada no processo deve impactar positivamente a disponibilidade de energia para outros setores (59).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	1
Por se tratar de uma tecnologia específica que está sendo desenvolvida em outros países, atribuiu-se nota 1 a este indicador.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada no documento. Porém, há um ponto de sinergia no contexto da "siderurgia limpa", incluída no tema de energia da estratégia (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia nos textos que compõem o rol da política climática nacional, mas se entende que há um breve ponto de sinergia com a NDC, cujo documento inclui a promoção de eficiência energética na indústria (5).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia no documento do Programa País para o GCF, do Brasil, mas é feita referência à promoção da eficiência energética na indústria, o que denota a existência de uma sinergia mínima da tecnologia com o plano (6).	
	Arcabouço institucional	2
Apesar de a tecnologia ser provada em outros países, ainda não se tem notícia de sua aplicação em plantas siderúrgicas no Brasil. Assim, a falta de projetos de referência implica uma resistência por parte dos investidores em serem pioneiros na adoção da tecnologia no país, assim como dos órgãos financiadores em concederem crédito. Além disso, a falta de conteúdo local da tecnologia prejudica seu desenvolvimento no país, em razão da dependência de importação de materiais e serviços de assistência.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
APLICAÇÃO DO PROCESSO SIDERWIN (INDUSTRIAL/SIDERURGIA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	De acordo com (9), a tecnologia encontra-se com nível de maturidade entre TRL 4 e TRL 5, qualificando-a para nota 2 da faixa estabelecida para o indicador.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 41.565 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Considerou-se uma redução de 87% das emissões totais da siderurgia (9).	
	Custos	1
	Dado o baixo grau de maturidade da tecnologia, torna-se difícil uma estimativa para seu custo de mitigação. Assim, conservadoramente, atribuiu-se a nota mínima da faixa estabelecida para o indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Ao substituir a queima de combustíveis por eletricidade, a tecnologia contribui positivamente para a redução da emissão de poluentes atmosféricos.	
	Impacto na disponibilidade de água	2
	O consumo de água para o processo de eletrólise (52) deverá impactar negativamente a disponibilidade de água para outros setores.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	De acordo com (60), o processo reduz em 31% a demanda direta de energia. Assim, atribuiu-se nota 4 ao indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Vantagens competitivas do Brasil	1
Por se tratar de uma tecnologia específica que está sendo desenvolvida em outros países, atribuiu-se nota 1 a este indicador.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	Não há menções diretas da tecnologia no documento que detalha a estratégia. Porém, entende-se que há um breve ponto de sinergia, no sentido em que sua adoção pode representar uma oportunidade de transferência tecnológica para o Brasil (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia nos textos que compõem o rol da política climática nacional, mas se entende que há um breve ponto de sinergia com a NDC, cujo documento inclui a promoção de eficiência energética na indústria (5).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia no documento do Programa País para o GCF, do Brasil, mas é feita referência à promoção da eficiência energética na indústria, o que denota a existência de uma sinergia mínima da tecnologia com o plano (6).	
	Arcabouço institucional	1
	O fato de se tratar de uma tecnologia estrangeira leva à necessidade de importação do pacote tecnológico, o que apresenta grandes problemas de ordem burocrática, de acordo com a visão do setor industrial brasileiro (7). Ademais, a mudança tecnológica envolve a substituição de um equipamento instalado nas plantas por uma inovação, alimentada por um outro vetor energético, o que gera grandes alterações na forma de operação da planta, representando tanto barreiras de financiamento quanto de qualificação para os operadores habilitados para o processo convencional.	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DRYING, PYROLYSIS AND COOLING (DPC) NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL (INDUSTRIAL/SIDERURGIA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	De acordo com (61), a tecnologia chegou ao estágio de demonstração, ou seja, TRL 8. Assim, atribuiu-se nota 4 ao indicador, com base na escala estabelecida.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 30.468 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Considerou-se uma redução de 75% das emissões da produção de gusa (61).	
	Custos	5
	Segundo a análise econômica realizada em (61), o retorno sobre uma planta de produção de carvão vegetal com a tecnologia DPC supera o mesmo para uma planta de produção de carvão vegetal convencional. Assim, considerou-se que a adoção da tecnologia representa um ganho em termos de desempenho econômico, sendo-lhe conferida nota 5 no indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	1
	Por se tratar de uma tecnologia que demanda um recurso renovável (biomassa), pode ser considerada vulnerável ao impacto das mudanças do clima em comparação ao uso de carvão mineral para a siderurgia.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	A produção de carvão vegetal com a tecnologia produz menos poluentes atmosféricos do que a tecnologia convencional (61).	
	Impacto na disponibilidade de água	2
	A demanda pela biomassa como matéria-prima para a produção do carvão vegetal pode impactar negativamente a disponibilidade de água para o restante da sociedade (47).	
	Impacto na produção de alimentos	2
	O uso da terra para produção da biomassa necessária à obtenção do carvão vegetal pode rivalizar com o cultivo de alimentos (62).	
	Impacto na biodiversidade	1
	O modelo de monoculturas para produção da biomassa em larga escala impacta negativamente a biodiversidade (48, 49).	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Visto que a cadeia de bioenergia brasileira está na vanguarda em termos de geração de emprego (32), a tecnologia deve impactar positivamente a geração de emprego e renda.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	Trata-se de uma tecnologia desenvolvida no Brasil para uma situação que é peculiar ao país, no que tange ao uso de carvão vegetal na siderurgia em larga escala (61). Nesse sentido, a tecnologia pode ser considerada uma solução local e específica para o caso brasileiro, o que qualifica o indicador para nota 5.	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia não é diretamente citada no documento. Porém, entende-se haver uma boa sinergia com a estratégia no tema do incentivo a biotecnologias mais sustentáveis, no âmbito da bioeconomia (4, 61).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	Não se cita a tecnologia diretamente nos documentos considerados, porém todos convergem no sentido de um aproveitamento mais moderno, eficiente e sustentável dos recursos bioenergéticos, de maneira que a tecnologia pode ser considerada sinérgica com os objetivos das diretrizes da política climática nacional (5, 21, 50).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é explicitamente citada no documento do programa. Porém, pode se encaixar no conceito de bioenergia avançada (6).	
	Arcabouço institucional	4
A substituição dos fornos atualmente empregados por tecnologias mais modernas pode ser financiada por linhas de crédito disponíveis para financiamento florestal, como o Programa ABC Florestas e o Programa Fundo Clima do BNDES, que possui um subprograma específico para financiamentos de fornos eficientes de carvão vegetal (63). Entretanto, destacam-se como barreiras o desconhecimento sobre os impactos negativos ao meio ambiente dos fornos de baixa eficiência e a desconfiança sobre a economicidade de tecnologias mais modernas por parte dos produtores, além do quadro geral de baixa qualificação da mão de obra no setor (61).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA ONDATEC NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL (INDUSTRIAL/SIDERURGIA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	De acordo com (61), há experiência com a tecnologia em ambiente de operação com pequena escala, voltado para produção de carvão vegetal para uso doméstico, ou seja, TRL 7. Assim, atribuiu-se nota 3 ao indicador, com base na escala estabelecida.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 30.468 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Considerou-se uma redução de 75% das emissões da produção de gusa (61).	
	Custos	5
	Segundo a análise econômica realizada em (61), o retorno sobre uma planta de produção de carvão vegetal com a tecnologia DPC supera o obtido em uma planta de produção de carvão vegetal convencional. Assim, considerou-se que a adoção da tecnologia representa um ganho em termos de desempenho econômico, sendo-lhe conferida nota 5 no indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	1
	Por se tratar de uma tecnologia que demanda um recurso renovável (biomassa), pode ser considerada vulnerável ao impacto das mudanças do clima em comparação ao uso de carvão mineral para a siderurgia.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	A produção de carvão vegetal com a tecnologia produz menos poluentes atmosféricos do que a tecnologia convencional (61).	
	Impacto na disponibilidade de água	2
	A demanda pela biomassa como matéria-prima para a produção do carvão vegetal pode impactar negativamente a disponibilidade de água para o restante da sociedade (47).	
	Impacto na produção de alimentos	2
	O uso da terra para produção da biomassa necessária à obtenção do carvão vegetal pode rivalizar com o cultivo de alimentos (62).	
	Impacto na biodiversidade	1
O modelo de monoculturas para produção da biomassa em larga escala impacta negativamente a biodiversidade (48, 49).		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Visto que a cadeia de bioenergia brasileira está na vanguarda em termos de geração de emprego (32), a tecnologia deve impactar positivamente a geração de emprego e renda.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
Trata-se de uma tecnologia desenvolvida no Brasil para uma situação que é peculiar ao país, no que tange ao uso de carvão vegetal na siderurgia em larga escala (61). Nesse sentido, a tecnologia pode ser considerada uma solução local e específica para o caso brasileiro, o que qualifica o indicador para nota 5.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia não é diretamente citada no documento. Porém, entende-se haver uma boa sinergia com a estratégia no tema do incentivo à biotecnologias mais sustentáveis, no âmbito da bioeconomia (4, 61).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	Não se cita a tecnologia diretamente nos documentos considerados. Porém, todos convergem no sentido de um aproveitamento mais moderno, eficiente e sustentável dos recursos bioenergéticos, de maneira que a tecnologia pode ser considerada sinérgica com os objetivos das diretrizes da política climática nacional (5, 21, 50).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é explicitamente citada no documento do programa. Porém, pode se encaixar no conceito de bioenergia avançada (6).	
	Arcabouço institucional	4
A substituição dos fornos atualmente empregados por tecnologias mais modernas pode ser financiada por linhas de crédito disponíveis para financiamento florestal, como o Programa ABC Florestas e o Programa Fundo Clima do BNDES, que possui um subprograma específico para financiamentos de fornos eficientes de carvão vegetal (63). Entretanto, destacam-se como barreiras o desconhecimento sobre os impactos negativos ao meio ambiente dos fornos de baixa eficiência e a desconfiança sobre a economicidade de tecnologias mais modernas por parte dos produtores, além do quadro geral de baixa qualificação da mão de obra no setor (61).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
COLETA E REFORMA DE GÁS DE ALTO-FORNO PELO PROCESSO IGAR (INDUSTRIAL/SIDERURGIA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	1
	De acordo com (9), ainda não há dados consolidados sobre o índice TRL da tecnologia, devido a seu estado de desenvolvimento ainda pouco avançado. Assim, atribuiu-se nota 1 à tecnologia no indicador.	
	Potencial de mitigação	2
	O potencial de mitigação calculado foi de 7.789 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 2 da faixa estabelecida. Considerou-se uma redução de 0,3 t CO ₂ para cada tonelada de aço produzida (64).	
	Custos	1
	Devido ao baixo estado de maturidade da tecnologia e, conseqüentemente, ao elevado grau de incerteza sobre qualquer estimativa de custo de mitigação, atribuiu-se nota 1 à tecnologia no indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A proposta da tecnologia é reaproveitar os gases provenientes do alto-forno e substituir parte do uso de carvão (coque) no processo de redução do minério, reduzindo o consumo do recurso (9). Assim, entende-se que o aumento da eficiência energética para o processo obtido com a tecnologia é positivo para a disponibilidade de energia aos demais setores.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Vantagens competitivas do Brasil	1
	A tecnologia vem sendo desenvolvida em países da Europa, não tendo sido identificados grupos de pesquisa brasileiros que atualmente trabalhem em seu desenvolvimento.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada no documento. Porém, há um ponto de sinergia no contexto da "siderurgia limpa", incluída no tema de energia da estratégia (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia nos textos que compõem o rol da política climática nacional, mas se entende que há um breve ponto de sinergia com a NDC, cujo documento inclui a promoção de eficiência energética na indústria (5).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia no documento do Programa País para o GCF, do Brasil, mas é feita referência à promoção da eficiência energética na indústria, o que denota a existência de uma sinergia mínima da tecnologia com o plano (6).	
	Arcabouço institucional	1
	O baixo grau de conhecimento sobre a tecnologia é a principal barreira identificada para sua implantação em ambiente industrial, repercutindo em incertezas sobre o desempenho da planta, sobre os custos de investimento e operação e sobre a viabilidade física da instalação dos equipamentos em uma planta existente, dado que não há projetos executados que possam ser tomados como referência.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
APLICAÇÃO DO PROCESSO HISARNA NA ROTA DE FUSÃO REDUTORA (INDUSTRIAL/SIDERURGIA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	De acordo com (9), a tecnologia possui um nível de maturidade correspondente a TRL 7, o que a qualifica para nota 3 na faixa considerada para o indicador.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 38.221 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Adotou-se uma redução de 80% das emissões totais da siderurgia com o processo (9).	
	Custos	5
	De acordo com (64, 65, 66), a redução do número de etapas do processo siderúrgico da tecnologia Hisarna permite uma redução dos custos de investimento e operacionais aliada à mitigação das emissões de GEE. Assim, considerou-se custo de abatimento negativo para a tecnologia.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	De acordo com (67), a tecnologia permite uma redução das emissões de material particulado, óxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, que são poluentes atmosféricos.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia permite uma redução de 20% do consumo de energia em relação à produção em alto-forno (67).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Vantagens competitivas do Brasil	1
A tecnologia deriva de um projeto europeu com foco na redução das emissões de GEE na siderurgia, sendo as patentes atualmente pertencentes ao grupo Tata Steel (67). No Brasil, não se identificaram iniciativas para o desenvolvimento da tecnologia ou similares.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada no documento. Porém, há um ponto de sinergia no contexto da "siderurgia limpa", incluída no tema de energia da estratégia (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia nos textos que compõem o rol da política climática nacional, mas se entende que há um breve ponto de sinergia com a NDC, cujo documento inclui a promoção de eficiência energética na indústria (5).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia no documento do Programa País para o GCF, do Brasil, mas é feita referência à promoção da eficiência energética na indústria, o que denota a existência de uma sinergia mínima da tecnologia com o plano (6).	
	Arcabouço institucional	1
	A questão da propriedade intelectual sobre a tecnologia pode ser considerada uma barreira para a implantação da tecnologia no Brasil. Além disso, como idealmente a tecnologia é associada à captura de CO ₂ , as barreiras para a cadeia de CCS (falta de regulação, valorização do CO ₂ capturado e falta de infraestrutura de movimentação) também se aplicariam a esta tecnologia para a exploração total de seu potencial de mitigação.	

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
INDÚSTRIA 4.0 (INDUSTRIAL/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	As múltiplas tecnologias que constroem o conceito de uma indústria de quarta geração têm por característica um contínuo processo de inovação e um curto período para sua obsolescência (68). O estágio de desenvolvimento atual é de validação de experimentos em tecnologias 4.0 em ambiente relevante (TRL 5). Assim, atribuiu-se nota 3 ao indicador.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 28.554 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Considerou-se que a redução potencial do fluxo de materiais e de energia poderia reduzir as emissões totais da indústria em 15% (69, 70, 71).	
	Custos	5
	Os possíveis ganhos de eficiência em uso de materiais e energia da indústria 4.0, aliados à mitigação de emissões de GEE (71), representam uma oportunidade de custo de abatimento negativo.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	O menor fluxo de materiais representa uma oportunidade de redução das emissões de poluentes atmosféricos (71).	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	A maior eficiência no uso de materiais representa uma oportunidade de redução no uso e no consumo de água na indústria (71).	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	As tecnologias da indústria 4.0 permitem a otimização do uso da energia na manufatura (70, 71), o que tem impacto positivo na disponibilidade de energia para os demais setores.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	As tecnologias da indústria 4.0 representam uma elevação considerável da produtividade do capital (69), o que repercute em geração de valor e aumento da renda para a sociedade. Com relação à geração de empregos, há muita incerteza sobre o impacto das tecnologias digitais sobre o mercado de trabalho, mas são esperados o fim de profissões existentes e a emergência de novas (72).	
	Vantagens competitivas do Brasil	2
	Há importantes iniciativas brasileiras que contribuem para a inovação da produção, a citar os parques tecnológicos de universidades com incubadoras de empresas, como o da UFRJ, que abriga a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii). Entretanto, os setores da indústria brasileira, em geral, apresentam baixa produtividade e baixo índice de inovação em comparação à média internacional (69). Com relação aos fatores de produção, que, neste caso, podem ser entendidos como as tecnologias habilitadoras, as tecnologias produzidas no Brasil são feitas principalmente por empresas transnacionais, com o desenvolvimento tecnológico e conceitual sendo realizado em suas matrizes estrangeiras. Quanto à integração da tecnologia na indústria, há, no Brasil, principalmente desenvolvedores de soluções digitais para problemas específicos. Porém, faltam grandes empresas de integração tecnológica. Sobre as <i>startups</i> , existe um movimento importante e crescente no país com essa tendência, mas ainda não goza de muita credibilidade para aplicação de seus produtos inovadores em grandes empresas, que se mostram céticas sobre o domínio das equipes das <i>startups</i> com relação aos complexos processos burocráticos que envolvem as operações corporativas no Brasil. A experiência do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) como órgão de suporte à indústria conta positivamente para o fomento ao ambiente de inovação na indústria brasileira (69, 73).	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	Um dos temas estratégicos destacados no documento são as tecnologias convergentes e habilitadoras, com foco na indústria.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia nos textos que compõem o rol da política climática nacional, mas se entende que há um breve ponto de sinergia com a NDC, cujo documento inclui a promoção de eficiência energética na indústria (5).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	Não se menciona diretamente a tecnologia no documento do Programa País para o GCF, do Brasil, mas é feita referência à promoção da eficiência energética na indústria, o que denota a existência de uma sinergia mínima da tecnologia com o plano (6).	
	Arcabouço institucional	2
No Brasil, no que se refere à infraestrutura, há um gargalo para o desenvolvimento da indústria 4.0, referente à limitada abrangência das redes móveis e banda larga, que necessitam de investimentos para permitir o fluxo de informações necessário às operações da manufatura avançada (73). Além disso, o arcabouço institucional brasileiro carece de instrumentos adequados para garantir às empresas proteção intelectual, padrões mínimos de cibersegurança e acesso a dados pessoais, elementos tidos como necessários para um bom funcionamento da nova geração industrial (73).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
USO DE FONTES RENOVÁVEIS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS (INDUSTRIAL/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	Esta medida compreende diversas tecnologias, em diferentes estados de maturidade, desde o uso de energia solar para aquecimento, tecnologicamente dominado, até a gasificação da biomassa para geração elétrica local, que ainda requer aprendizado. Assim, o indicador recebeu nota 4.	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 28.554 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Considerou-se o potencial de reduzir 40% das emissões energéticas da indústria com a substituição de recursos fósseis por fontes renováveis.	
	Custos	3
	No rol de tecnologias industriais abastecidas por fontes renováveis, há diferentes faixas de custos de abatimento. Por exemplo, o uso de coletores solares para aquecimento de água na indústria de alimentos e bebidas tem custo inferior ao aquecimento com combustíveis, ou seja, custo de abatimento negativo (74), enquanto o uso de biogás na indústria cerâmica deve ter custo um pouco mais elevado do que o gás natural (75). Entretanto, a geração de eletricidade local com fontes renováveis (eólica, solar ou termelétricas a biomassa) para abastecimento das demandas de processos de mineração deve apresentar custos consideravelmente mais elevados do que o abastecimento pela rede elétrica (76). Assim, assumiu-se o valor intermediário da escala (3) para o indicador, de forma a abranger os diferentes aproveitamentos de fontes renováveis às indústrias em suas múltiplas faixas de custos.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	1
Os efeitos das mudanças do clima impactam muito mais severamente as fontes renováveis de energia, causando-lhes um aumento de sua variabilidade e, conseqüentemente, do risco (31). Portanto, ao utilizar fontes renováveis, os processos industriais introduzem um elemento de risco climático em sua cadeia de suprimentos.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Em geral, a transição do uso de fontes fósseis por renováveis modernas, sobretudo para energia, é benéfica à qualidade do ar por reduzir emissões de poluentes atmosféricos locais (77).	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	De acordo com (78), a adoção de fontes renováveis também pode beneficiar o suprimento de água, sobretudo por reduzir eventos como a chuva ácida ou a drenagem ácida de minas (no caso de carvão mineral), que contaminam corpos hídricos.	
	Impacto na produção de alimentos	2
	Empreendimentos de aproveitamento de fontes renováveis podem ocupar grandes áreas, alterando a dinâmica do uso da terra. Especialmente para a bioenergia, há um debate sobre a possibilidade de competição pelo uso da terra para produção de alimentos ou de energia (62).	
	Impacto na biodiversidade	2
As alterações na dinâmica do uso da terra ocasionada pela pressão dos empreendimentos de energia renovável em larga escala, que ocupam grandes áreas, podem impactar a biodiversidade. Um exemplo emblemático são os impactos de parques eólicos em ecossistemas de aves (79). No caso da bioenergia, o modelo de produção de biomassa com grandes áreas de monoculturas também representa um significativo impacto à biodiversidade (48, 49).		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	O aproveitamento de fontes renováveis disponíveis localmente em substituição a fontes fósseis, finitas por definição, impacta positivamente a disponibilidade de energia tanto para outros setores quanto para as gerações futuras (78).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	De acordo com (32), as cadeias produtivas de energia renovável apresentam maior intensidade em mão de obra em relação às cadeias fósseis. Assim, a maior utilização de fontes renováveis na indústria deve ter impacto positivo em termos de geração de emprego e renda.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	Em termos de fatores de produção, o Brasil possui uma posição privilegiada em termos de potencial de recursos renováveis, além de uma cadeia produtiva já estabelecida para o aproveitamento dos recursos renováveis. Quanto à mão de obra, o Brasil destaca-se como um dos países que mais emprega pessoas na cadeia produtiva das energias renováveis, sobretudo no setor de bioenergia (32). O país também se destaca em termos de competência nacional, tendo sua matriz energética com uma participação de renováveis muito superior à média global (80) e experiências bem-sucedidas com políticas públicas para estímulo do aproveitamento dos recursos renováveis do país – por exemplo, Programa Nacional do Alcool (Proálcool), Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) e Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). Contudo, o quadro de baixa taxa média de inovação do setor industrial brasileiro (69) pode limitar o aproveitamento das condições positivas do país para o uso industrial de recursos renováveis.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Não há menção específica no documento sobre o uso de fontes renováveis especificamente na indústria. Porém, o aproveitamento de fontes renováveis, genericamente, é um tema de grande relevância para a estratégia.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	Não há menções específicas sobre a adoção de fontes renováveis para a indústria, mas os planos que compõem as políticas climáticas têm, no uso de fontes renováveis, um dos elementos centrais. Assim, a tecnologia apresenta uma boa sinergia com as políticas climáticas do Brasil.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	Não se verifica uma menção específica para adoção de fontes renováveis na indústria. Porém, há uma citação à promoção de tecnologias limpas na indústria no eixo estratégico de infraestrutura sustentável, o que denota uma boa sinergia da tecnologia com o plano.	
	Arcabouço institucional	3
	No Brasil, a experiência histórica de uso de energia renovável e planejamento centralizado do setor energético construiu um complexo e robusto arcabouço regulatório para o mercado de energia, com regras específicas para cada segmento da cadeia de produção (geração, transmissão e distribuição) de acordo com suas características. Pelo lado do financiamento, há disponível, no mercado de crédito do Brasil, diversos produtos financeiros voltados para projetos de energias renováveis na indústria, como o Energias Renováveis e o Fundo Clima, do BNDES; o FNE Solar, do Banco do Nordeste; o Linha BID, do Itaú; e o CDC Sustentável, do Santander (81). Entretanto, existem barreiras ao avanço das energias renováveis na indústria de diversas naturezas, podendo-se destacar o risco financeiro associado ao elevado tempo e aos custos de transação para acessar o financiamento; a intermitência (solar e eólica) e os riscos climáticos associados ao suprimento, agravados pela dificuldade de armazenamento; a falta de infraestrutura para conexão à rede em muitos locais com bom potencial de geração; e a falta de divulgação de informações sobre locais com bom potencial de aproveitamento das fontes renováveis.	

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
TRANSPORTE DE CO₂ (INDUSTRIAL/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	O transporte de CO ₂ por diferentes modais é uma operação tecnologicamente madura. É empregada há décadas nos Estados Unidos, por exemplo, para recuperação avançada de petróleo, sobretudo pelo modal dutoviário (35).	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 76.310 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Representa 90% das emissões totais da indústria no ano-base, valor associado a sistemas de CCS (35).	
	Custos	2
	O custo do transporte de CO ₂ depende significativamente do volume transportado e da distância entre a origem e o destino (35). Uma análise de uma nova rede de transporte de CO ₂ otimizada, proposta para coletar CO ₂ de destilarias de etanol no Centro-Sul do Brasil e usar o gás para recuperação avançada de petróleos em campos <i>offshore</i> , encontrou custos de transporte variando entre 32 e 87 US\$/t CO ₂ , o que qualifica o indicador para nota 2.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	2
	Há que se considerar um elevado gasto energético na etapa de compressão inicial e nas estações de recompressão do gás necessárias ao longo do trecho de duto (35). No caso de transporte rodoviário ou aquaviário, deve-se considerar o consumo de combustível para a movimentação do CO ₂ (35, 82). Assim, a etapa de transporte de CO ₂ desde a origem até o destino final está necessariamente associada a um consumo energético, o que impacta negativamente a disponibilidade de energia aos demais setores da sociedade.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	O desenvolvimento de uma malha de dutos como infraestrutura para transporte de CO ₂ deve estimular a geração de diversos empregos (83). Para o caso do transporte rodoviário ou aquaviário, também devem ser gerados empregos associados à operação dos veículos.	
	Vantagens competitivas do Brasil	2
O Brasil carece de uma infraestrutura de dutos para transporte de CO ₂ , necessitando de um grande aporte de capital para construção de uma malha dedicada à operação de CCS. Entretanto, ressalva-se que mesmo a malha de transporte de gás natural do país é incipiente, cobrindo uma baixa porção do território nacional e com projetos de expansão parados por falta de investimento. A experiência da Petrobras na construção de gasodutos pode contar positivamente para o Brasil, visto que a empresa pode ter interesse na coleta do CO ₂ para uso em suas atividades de exploração e produção de petróleo.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é diretamente citada no documento da estratégia. Porém, há um ponto de sinergia com o tema estratégico "clima" (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A NDC brasileira cita a promoção de novos padrões de tecnologias limpas e infraestrutura sustentável no setor industrial como uma de suas medidas (5), o que pode contemplar a cadeia de CCS.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é diretamente citada no documento. Porém, é verificado um eixo estratégico de infraestrutura sustentável (6), que poderia incluir a cadeia de CCS.	
	Arcabouço institucional	1
No Brasil, atualmente, há diversas lacunas regulatórias sobre a cadeia do CCS, sobretudo na atribuição de responsabilidade sobre o gás em cada etapa da estrutura produtiva (38). Além disso, não há, no país, uma infraestrutura de transporte do CO ₂ , o que prejudica o processo logístico do gás (35). Também não há políticas de incentivo à mitigação das emissões em vigor, o que torna a operação um ônus sem nenhum retorno aos investidores.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ARMAZENAMENTO DE CO₂ (INDUSTRIAL/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	O armazenamento geológico de CO ₂ é uma operação industrial tecnologicamente madura. É empregado há décadas nos Estados Unidos, por exemplo, para recuperação avançada de petróleo em campos maduros (35).	
	Potencial de mitigação	5
	O potencial de mitigação calculado foi de 76.310 Gg CO ₂ por ano, qualificando a tecnologia para a nota 5 da faixa estabelecida. Representa 90% das emissões totais da indústria no ano-base, valor associado a sistemas de CCS (35).	
	Custos	3
	De acordo com (84), os custos para injeção de CO ₂ em poços de petróleo variam entre 7 e 11 US\$/t de CO ₂ . Assim, conservadoramente, foi concedida nota 3 à tecnologia no indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
	Impacto na biodiversidade	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador, recebendo nota 3.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	Por um lado, o armazenamento do CO ₂ requer um aumento da pressão acima do estabelecido para a etapa de transporte, o que representa uma demanda adicional de energia para a compressão. Entretanto, o uso do gás para recuperação de petróleo avançada aumenta o potencial de produção de óleo em campos maduros, o que é positivo para a disponibilidade de energia à população. Assim, considerou-se o impacto da tecnologia neutro para este indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	2
	O uso da tecnologia de armazenamento de CO ₂ deverá induzir o desenvolvimento de uma cadeia de valor para as atividades associadas, no conceito dos <i>green jobs</i> (83).	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
Em termos de fatores de produção, o Brasil é um grande produtor de petróleo em nível global, possui mão de obra qualificada e uma indústria de óleo e gás estabelecida e preparada para operar com a tecnologia. Sobre competência nacional, a Petrobras já apresenta uma instalação de CCS em operação na bacia de Santos, armazenando CO ₂ na camada pré-sal (85). Há, também, experiências em injeção de CO ₂ em campos <i>onshore</i> na bacia do Recôncavo (86).		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é diretamente citada no documento da estratégia. Porém, há um ponto de sinergia com o tema estratégico "clima" (4).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A NDC brasileira cita a promoção de novos padrões de tecnologias limpas e infraestrutura sustentável no setor industrial como uma de suas medidas (5), o que pode contemplar a cadeia de CCS.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é diretamente citada no documento. Porém, é verificado um eixo estratégico de infraestrutura sustentável (6), que poderia incluir a cadeia de CCS.	
	Arcabouço institucional	1
No Brasil, atualmente, há diversas lacunas regulatórias sobre a cadeia do CCS, sobretudo na atribuição de responsabilidade sobre o gás em cada etapa da estrutura produtiva (38). Além disso, não há, no país, uma infraestrutura de transporte do CO ₂ , o que prejudica o processo logístico do gás (35). Também não há políticas de incentivo à mitigação das emissões em vigor, o que torna a operação um ônus sem nenhum retorno aos investidores.		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
IMPLEMENTAÇÃO DE PILOTO DE FLARE (ENERGIA/EXTRAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A tecnologia possui maturidade tecnológica, com índice TRL 9. Diversas das novas plataformas norueguesas já atuam utilizando o piloto de ignição como padrão.	
	Potencial de mitigação	1
	Ao promover a eliminação das emissões constantes de <i>flare</i> , estima-se que a implementação do piloto de ignição possa evitar emissões de até 250 ktCO ₂ eq por ano (1).	
	Custo de mitigação	2
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 50 US\$/tCO ₂ (1).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Reduz a queima de gás natural na plataforma, resultando em benefícios para a saúde dos trabalhadores atuando nessas unidades.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Aumenta a disponibilidade de gás natural, uma vez que o piloto de ignição elimina a necessidade da tocha com emissões constantes e o sistema inclui uma unidade de recuperação do gás (2).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Embora a tecnologia não seja explicitamente citada pela ENCTI, sinergias são verificadas, visto que o documento ressalta a importância da indústria de exploração e produção (E&P) de petróleo e gás natural para o país, bem como a necessidade de que suas atividades se desenvolvam de forma ambientalmente sustentável e com altos níveis de segurança operacional.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A tecnologia não é mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas compreendem, de forma abrangente, a redução de emissões do setor de E&P de óleo e gás natural.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é mencionada no Programa País para o GCF.	
	Arcabouço institucional	5
O setor de E&P de óleo e gás é bem estabelecido e devidamente regulamentado no país. Em termos de regulação, pode-se citar o Novo Marco Regulatório do Petróleo (PLC nº 08/2010) e a instituição do Fundo Social do Petróleo.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
INSTALAÇÃO DE UNIDADES DE RECUPERAÇÃO DE VAPOR EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO (ENERGIA/EXTRAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A tecnologia já possui maturidade tecnológica, com índice TRL 9.	
	Potencial de mitigação	1
	A instalação de unidades de recuperação de vapor em tanques de armazenamento de óleo cru evita a emissão de hidrocarbonetos mais leves, tais quais o metano, os outros compostos orgânicos voláteis e os líquidos de gás natural. Estima-se que esta opção tecnológica seja capaz de evitar emissões de até 215 ktCO ₂ eq por ano (1).	
	Custo de mitigação	4
	A tecnologia apresenta custos de abatimento na faixa de 3,1 a 3,4 US\$/tCO ₂ (1).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Reduz a queima de gás natural na plataforma, resultando em benefícios para a saúde dos trabalhadores atuando nessas unidades.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Aumenta a disponibilidade de gás natural, visto que este, que era perdido nos tanques de armazenamento de óleo cru, passa a ser recuperado.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A implementação desta tecnologia não apresenta impacto significativo sobre a geração de emprego e renda ou sobre a redução da desigualdade social.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Embora a tecnologia não seja explicitamente citada pela ENCTI, as sinergias são verificadas, visto que o documento ressalta a importância da indústria de E&P de petróleo e gás natural para o país, bem como a necessidade de que suas atividades se desenvolvam de forma ambientalmente sustentável e com altos níveis de segurança operacional.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A tecnologia não é mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas compreendem, de forma abrangente, a redução de emissões do setor de E&P de óleo e gás natural.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é mencionada no Programa País para o GCF.	
	Arcabouço institucional	4
O setor de E&P de óleo e gás é bem estabelecido e devidamente regulamentado no país. Em termos de regulação, pode-se citar o Novo Marco Regulatório do Petróleo (PLC nº 08/2010) e a instituição do Fundo Social do Petróleo.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ROTA GAS-TO-LIQUIDS (ENERGIA/EXTRAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	Estima-se que a prontidão tecnológica corresponda ao índice TRL 6, dado que ainda não existem plantas de demonstração para esta rota tecnológica. Em parceria com a CompactGTL (CGTL), a Petrobras construiu uma planta-piloto com capacidade de processar 200.000 scf/dia, em Aracaju. A planta-piloto entrou em operação em 2010 (3).	
	Potencial de mitigação	1
	Dado que a implementação desta tecnologia reduziria o <i>flaring</i> ao mínimo necessário para a queima de segurança, estima-se que as emissões evitadas cheguem a 255 ktCO ₂ eq por ano (1).	
	Custo de mitigação	1
	A tecnologia apresenta elevados custos de abatimento: em torno de 217 US\$/tCO ₂ (1).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
A tecnologia não é diretamente afetada pelas mudanças do clima.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Reduz a queima de gás natural na plataforma, resultando em benefícios para a saúde dos trabalhadores atuando nessas unidades.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	5
	Reduz a queima de gás natural, contribuindo positivamente para a disponibilidade de energia, uma vez que o gás natural passa a ser utilizado para a produção de combustíveis sintéticos.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que gera novos postos de trabalho e necessita de mão de obra qualificada.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
A implementação desta tecnologia apresenta vantagens competitivas para o Brasil, visto que o país é um grande produtor de gás natural e a tecnologia possibilitaria a redução da queima do gás excedente, promovendo seu escoamento para a produção de cru sintético. Além da planta-piloto da Petrobras em parceria com a CGTL, em Aracaju, e da pesquisa dedicada pelo Centro de Pesquisa (Cenpes) da Petrobras ao tema, existe uma célula GTL desenvolvida pela Escola de Química (EQ) da UFRJ.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Embora a tecnologia não seja explicitamente citada pela ENCTI, as sinergias são verificadas, visto que o documento ressalta a importância da indústria de E&P de petróleo e gás natural para o país, bem como a necessidade de que suas atividades se desenvolvam de forma ambientalmente sustentável e com altos níveis de segurança operacional.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A tecnologia não é mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas compreendem, de forma abrangente, a redução de emissões do setor de E&P de óleo e gás natural.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é mencionada no Programa País para o GCF.	
	Arcabouço institucional	1
Embora o setor de óleo e gás natural seja bem estabelecido e regulamentado, ainda não se verificam instrumentos legais que promovam o desenvolvimento desta rota tecnológica.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CAPTURA DE CO₂ NA PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS NATURAL (ENERGIA/EXTRAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	1
	A prontidão tecnológica relativa aos sistemas de captura de CO ₂ via membranas, para captura de CO ₂ na produção de óleo e gás natural, encontra-se na faixa de prova do conceito, com índice TRL 3 (4).	
	Potencial de mitigação	2
	Estima-se que os sistemas de captura de CO ₂ utilizando membranas, na produção de óleo e gás natural, contribuam com emissões evitadas em torno de 6.000 ktCO ₂ eq por ano (1).	
	Custo de mitigação	3
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 21 US\$/tCO ₂ (1).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	Embora a tecnologia promova reduções nas emissões de GEE (nível global), não afeta diretamente a redução da poluição a nível local.	
	Impacto na disponibilidade de água	2
	Os sistemas de captura de CO ₂ por meio de membranas demandam recursos hídricos significativos, impactando a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	1
	O sistema de captura de CO ₂ utilizando membranas é um sistema energo-intensivo, e as respectivas penalidades energéticas geram impactos negativos sobre a disponibilidade de energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que gera novos postos de trabalho e necessita de mão de obra qualificada.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
A implementação desta tecnologia apresenta vantagens competitivas para o Brasil, visto que o país é um grande produtor de óleo e gás natural e a tecnologia possibilitaria a redução das emissões de CO ₂ para o setor, de modo que suas atividades estariam em maior consonância com parâmetros ambientalmente sustentáveis. Entre os centros de pesquisa, vale ressaltar: Coppe/UFRJ, EQ/UFRJ, Centro de Pesquisa para Inovação em Gás da Universidade de São Paulo (RCGI/USP) e Cenpes/Petrobras, que possuem linhas de pesquisa inovadoras acerca da captura de CO ₂ via membranas.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada pela ENCTI. Embora não aponte objetivamente estratégias relacionadas à captura de CO ₂ em plataformas, o documento ressalta a importância da indústria de E&P de petróleo e gás natural para o país, bem como a necessidade de que suas atividades se desenvolvam de forma ambientalmente sustentável e com altos níveis de segurança operacional.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A tecnologia não é mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas compreendem, de forma abrangente, a redução de emissões do setor de E&P de óleo e gás natural.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é mencionada no Programa País para o GCF.	
	Arcabouço institucional	1
Embora o setor de óleo e gás natural seja bem estabelecido e regulamentado, ainda não se verificam instrumentos legais que promovam o desenvolvimento desta rota tecnológica, especialmente no que se refere ao transporte e ao armazenamento do carbono capturado.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CAPTURA DE CO₂ EM UNIDADES DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO FLUIDO (ENERGIA/REFINO DE PETRÓLEO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	Em unidades de craqueamento fluido catalítico, a captura de CO ₂ dá-se tipicamente por meio da oxidação. Sistemas de captura de CO ₂ via oxidação encontram-se na faixa de prontidão tecnológica com índice TRL 4 (4).	
	Potencial de mitigação	2
	Estima-se que os sistemas de captura de CO ₂ em unidades de craqueamento fluido catalítico contribuam com emissões evitadas em torno de 7.600 ktCO ₂ eq por ano (1).	
	Custo de mitigação	2
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 74 US\$/tCO ₂ (5).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	Embora a tecnologia promova reduções nas emissões de GEE (nível global), não afeta diretamente a redução da poluição a nível local.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	Os sistemas de captura de CO ₂ em unidades de craqueamento fluido catalítico são intensivos em recursos hídricos, gerando impactos significativos sobre a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	1
	Os sistemas de captura de CO ₂ são energia-intensivos, e as respectivas penalidades energéticas geram impactos negativos sobre a disponibilidade de energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que gera novos postos de trabalho e necessita de mão de obra qualificada.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
A implementação desta tecnologia apresenta vantagens competitivas para o Brasil, visto que o país possui importante parque de refino, e a tecnologia possibilitaria a redução das emissões de CO ₂ para o setor, de modo que suas atividades estariam em maior consonância com parâmetros ambientalmente sustentáveis. Entre os centros de pesquisa, vale ressaltar a Coppe/UFRJ. Além disso, a tecnologia de oxidação está sendo testada pelo Cenpes/Petrobras, em um protótipo de unidade de craqueamento fluido catalítico em escala pré-industrial, na Unidade de Industrialização de Xisto (SIX), no Paraná (6).		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada pela ENCTI. Embora não aponte objetivamente estratégias relacionadas à captura de CO ₂ em unidades de refino, o documento ressalta a importância do desenvolvimento ambientalmente sustentável para a indústria de óleo e gás natural.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A tecnologia não é mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas compreendem, de forma abrangente, a redução de emissões da indústria de óleo e gás natural.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é mencionada no Programa País para o GCF.	
	Arcabouço institucional	1
Embora o setor de óleo e gás natural seja bem estabelecido e regulamentado, ainda não se verificam instrumentos legais que promovam o desenvolvimento desta rota tecnológica, especialmente no que se refere ao transporte e ao armazenamento do carbono capturado.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CAPTURA DE CO₂ EM UNIDADES DE GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO (ENERGIA/REFINO DE PETRÓLEO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	Em unidades de geração de hidrogênio, a captura de CO ₂ dá-se tipicamente por meio de processos de absorção química, utilizando aminas. Os sistemas de captura de CO ₂ pós-combustão via absorção química já possuem maturidade tecnológica, com índice TRL 9 (4).	
	Potencial de mitigação	1
	Estima-se que os sistemas de captura de CO ₂ em unidades de geração de hidrogênio contribuam com emissões evitadas em torno de 880 ktCO ₂ eq por ano (1).	
	Custo de mitigação	2
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 71 US\$/tCO ₂ (5).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	Embora a tecnologia promova reduções nas emissões de GEE (nível global), não afeta diretamente a redução da poluição a nível local.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	Os sistemas de captura de CO ₂ em unidades de geração de hidrogênio são intensivos em recursos hídricos, gerando impactos significativos sobre a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	1
	Os sistemas de captura de CO ₂ são energo-intensivos, e as respectivas penalidades energéticas geram impactos negativos sobre a disponibilidade de energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que necessita de mão de obra qualificada.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
A implementação desta tecnologia apresenta vantagens competitivas para o Brasil, visto que o país possui importante parque de refino, e a tecnologia possibilitaria a redução das emissões de CO ₂ para o setor, de modo que suas atividades estariam em maior consonância com parâmetros ambientalmente sustentáveis. Entre os centros de pesquisa, vale ressaltar a Coppe/UFRJ.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada pela ENCTI. Embora não aponte objetivamente estratégias relacionadas à captura de CO ₂ em unidades de refino, o documento ressalta a importância do desenvolvimento ambientalmente sustentável para a indústria de óleo e gás natural.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	A tecnologia não é mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas compreendem, de forma abrangente, a redução de emissões da indústria de óleo e gás natural.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é mencionada no Programa País para o GCF.	
	Arcabouço institucional	1
Embora o setor de óleo e gás natural seja bem estabelecido e regulamentado, ainda não se verificam instrumentos legais que promovam o desenvolvimento desta rota tecnológica, especialmente no que se refere ao transporte e ao armazenamento do carbono capturado.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
TURBINAS HIDROcinÉTICAS (ENERGIA/ELÉTRICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	A prontidão tecnológica encontra-se na faixa de índice TRL 6. A Universidade de Brasília (UnB), em parceria com a Eletronorte, vem trabalhando no Projeto Tucunaré, para o desenvolvimento de uma turbina hidrocinética com 100 kW de potência e 5 m de diâmetro (7).	
	Potencial de mitigação	1
	Considerando uma taxa de penetração de 1,7% em relação ao ano-base 2015 e as emissões relativas ao setor elétrico para o mesmo ano (tomando a geração elétrica – 571.486 GWh – e o fator de emissão do <i>grid</i> – 0,1244 tCO ₂ /MWh), estima-se um potencial de mitigação de 1.209 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	4
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 7 US\$/tCO ₂ (10).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
	As mudanças do clima podem afetar a disponibilidade de recursos hídricos, e, portanto, avalia-se que a tecnologia é sensível às mudanças do clima.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Considera-se que esta tecnologia pode gerar impactos positivos sobre a redução da poluição e benefícios para a saúde, uma vez que substituiria a geração de eletricidade a partir de fontes fósseis e altamente poluentes.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	5
	O aproveitamento da energia cinética residual relativa ao fluxo de água após o turbinamento de usinas hidroelétricas convencionais resulta em ganhos de até 5% na potência instalada (11).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que necessita de mão de obra para a construção e a instalação das turbinas hidrocinéticas.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
São verificadas vantagens competitivas para o Brasil, visto que o país possui grande potencial hidroelétrico e a utilização de turbinas hidrocinéticas pode favorecer o melhor aproveitamento desse potencial. Conforme anteriormente citado, a UnB, em parceria com a Eletronorte, vem trabalhando no Projeto Tucunaré, para o desenvolvimento de uma turbina hidrocinética com 100 kW de potência (7). Além disso, entre os centros de pesquisa, vale ressaltar: Coppe/UFRJ, Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel/Eletronorte), que desenvolvem pesquisa inovadora nesta área.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada pela ENCTI. No entanto, as estratégias apontam para a necessidade de desenvolvimento e maior participação de fontes renováveis na matriz energética nacional.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas apontam para a necessidade de ampliação da participação de renováveis e aproveitamento da geração hidroelétrica.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	A tecnologia não é explicitamente mencionada no Programa País para o GCF. No entanto, entre os eixos temáticos e as áreas de investimentos propostos figuram as energias renováveis.	
	Arcabouço institucional	3
Até então, não foram encontradas informações sobre instrumentos legais e tributos que estimulem a implementação desta tecnologia. Em termos de pesquisa e desenvolvimento, são verificados alguns incentivos à pesquisa e desenvolvimento da tecnologia, conforme o exemplo da parceria entre a UnB e a Eletronorte.		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (ENERGIA/ELÉTRICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A tecnologia já possui maturidade tecnológica, com índice TRL 9.	
	Potencial de mitigação	1
	Considerando uma taxa de penetração de 0,23% em relação ao ano-base 2015 e as emissões relativas ao setor elétrico para o mesmo ano (tomando a geração elétrica – 571.486 GWh – e o fator de emissão do <i>grid</i> – 0,1244 tCO ₂ /MWh), estima-se um potencial de mitigação de 164 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	4
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 6,8 US\$/tCO ₂ (10).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
	As mudanças do clima podem afetar a disponibilidade de recursos hídricos, e, portanto, avalia-se que a tecnologia é sensível às mudanças do clima.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Considera-se que esta tecnologia pode gerar impactos positivos sobre a redução da poluição e benefícios para a saúde, uma vez que substituiria a geração de eletricidade a partir de fontes fósseis e altamente poluentes.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	5
	Usinas hidrelétricas reversíveis podem prover benefícios sistêmicos, dando suporte à expansão de usinas a fio d'água e usinas idealmente motorizadas pela garantia física, aumentando a confiabilidade e a qualidade do suprimento de energia, visto que a energia armazenada pode ser prontamente utilizada em situações de contingência (12).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	São verificadas vantagens competitivas para o Brasil, visto que o país possui grande potencial hidrelétrico e a utilização de usinas reversíveis pode favorecer o melhor aproveitamento desse potencial, além de prover benefícios sistêmicos, dando suporte à expansão de usinas a fio d'água e usinas idealmente motorizadas pela garantia física, aumentando a confiabilidade e a qualidade do suprimento de energia. Entre os centros de pesquisa, vale ressaltar a Coppe/UFRJ, que vem desenvolvendo estudos associados à análise de sítios mais apropriados para a localização de usinas reversíveis, e o Cepel/Eletrobras.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada pela ENCTI. No entanto, as estratégias apontam para a necessidade de desenvolvimento e maior participação de fontes renováveis na matriz energética nacional.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas apontam para a necessidade de ampliação da participação de renováveis e aproveitamento da geração hidrelétrica.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada no Programa País para o GCF. No entanto, entre os eixos temáticos e as áreas de investimentos propostos figuram as energias renováveis, sendo citado o armazenamento de energia (com foco nas energias renováveis).	
	Arcabouço institucional	2
	Até então, não foram encontradas informações sobre instrumentos legais, tributos e instituições que estimulem a implementação desta tecnologia.	

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
REPOTENCIAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS (ENERGIA/ELÉTRICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A tecnologia já possui maturidade tecnológica, com índice TRL 9.	
	Potencial de mitigação	1
	Considerando uma taxa de penetração de 0,25% em relação ao ano-base 2015 e as emissões relativas ao setor elétrico para o mesmo ano (tomando a geração elétrica – 571.486 GWh – e o fator de emissão do <i>grid</i> – 0,1244 tCO ₂ /MWh), estima-se um potencial de mitigação de 178 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	4
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 1 US\$/tCO ₂ (10).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A repotenciação de usinas hidrelétricas é capaz de gerar ganhos de potência e rendimento que variam de 2,5% a 20% da capacidade instalada das usinas. Além disso, a repotenciação atua na recuperação da potência real que foi se perdendo ao longo dos anos, aumentando a disponibilidade de equipamentos, o que possibilita a elevação do fator de capacidade da usina, gerando ganhos em rendimento, na queda líquida, na vazão turbinada, e na disponibilidade (13).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A implementação desta tecnologia não interfere significativamente neste critério.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
São verificadas vantagens competitivas para o Brasil, visto que o país possui grande potencial hidrelétrico e a repotenciação de usinas hidrelétricas pode favorecer o melhor aproveitamento desse potencial. Entre os centros de pesquisa, vale ressaltar: Coppe/UFRJ, Unifei e Cepel/Eletronbras, que desenvolvem pesquisa inovadora na área.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia não é explicitamente citada pela ENCTI. No entanto, as estratégias apontam para a necessidade de desenvolvimento e maior participação de fontes renováveis na matriz energética nacional.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas apontam para a necessidade de ampliação da participação de renováveis e aproveitamento da geração hidrelétrica.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	A tecnologia não é explicitamente mencionada no Programa País para o GCF. No entanto, entre os eixos temáticos e as áreas de investimentos propostos figuram as energias renováveis.	
	Arcabouço institucional	2
Até então, não foram encontradas informações sobre instrumentos legais, tributos e instituições que estimulem a implementação desta tecnologia.		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ENERGIA EÓLICA OFFSHORE (ENERGIA/ELÉTRICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	1
	A tecnologia ainda se encontra em estágios iniciais de desenvolvimento, com índice TRL 3 (14).	
	Potencial de mitigação	1
	Considerando uma taxa de penetração de 0,4% em relação ao ano-base 2015 e as emissões relativas ao setor elétrico para o mesmo ano (tomando a geração elétrica – 571.486 GWh – e o fator de emissão do <i>grid</i> – 0,1244 tCO ₂ /MWh), estima-se um potencial de mitigação de 284 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	1
	Os custos relativos à energia eólica <i>offshore</i> são relativamente altos. Em linhas gerais, o ambiente marítimo é severo e exige que equipamentos, incluindo tanto as turbinas eólicas quanto a estrutura flutuante, sejam construídos de forma a suportar condições adversas. Neste sentido, são verificados maiores custos de fabricação dos equipamentos, fundação, instalação e transporte das estruturas, além de custos adicionais para conexão do parque gerador à rede de transmissão e distribuição de energia, o que confere à tecnologia nota 5 neste indicador, em conformidade com a normalização das faixas de custos estabelecida.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
As mudanças do clima podem alterar o padrão de ventos e influenciar períodos de seca e de chuva (que, por sua vez, também afetam o padrão de ventos). Neste contexto, a geração eólica <i>offshore</i> é sensível às mudanças do clima.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Considera-se que esta tecnologia pode gerar impactos positivos sobre a redução da poluição e benefícios para a saúde, uma vez que substituiria a geração de eletricidade a partir de fontes fósseis e altamente poluentes.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	2
A exploração da energia eólica <i>offshore</i> pode gerar impactos sobre a vida marinha, especialmente os mamíferos marinhos, sensíveis aos impactos sonoros provenientes, sobretudo, da etapa de instalação das estruturas. A instalação de turbinas eólicas <i>offshore</i> também pode gerar impactos sobre a distribuição de pássaros por risco de colisão, efeito barreira (alterando suas rotas), perda de <i>habitat</i> e risco de atração (15).		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	5
	O aproveitamento do potencial eólico <i>offshore</i> promove impactos significativos e positivos sobre a disponibilidade de energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que necessita de mão de obra qualificada para a construção e a instalação das turbinas eólicas e das estruturas flutuantes.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	São verificadas vantagens competitivas para o Brasil, visto que o país possui grande potencial eólico <i>offshore</i> . Entre os centros de pesquisa, vale ressaltar: Coppe/UFRJ, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e Cepel/Eletronbras. Além disso, a Petrobras tem parceria firmada com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e a UFRJ para mapeamento do potencial eólico no litoral brasileiro (16).	

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Embora a tecnologia não seja explicitamente citada pela ENCTI, as sinergias são verificadas, visto que o documento ressalta a importância do desenvolvimento da geração eólica.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas apontam para a necessidade de ampliação da participação de renováveis e o incentivo à geração eólica.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O Programa País para o GCF, do Brasil, é enfático ao apontar o desenvolvimento de energias renováveis, explicitamente a energia eólica, como prioritário para maior diversificação da matriz energética nacional, figurando não apenas como opção de mitigação, mas contribuindo efetivamente para o aumento da resiliência econômica e da segurança energética.	
	Arcabouço institucional	3
Ainda não existe marco regulatório para regulamentação da energia eólica <i>offshore</i> no Brasil. Todavia, há uma comissão denominada Comissão Executiva para a Promoção e a Regulamentação do Offshore Eólico Brasileiro, coordenada pelo Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia, liderando as discussões de cunho multi-institucional com o intuito de elaborar estudos para a criação de um marco regulatório para a exploração da energia eólica <i>offshore</i> no país.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CICLO COMBINADO COM GASEIFICAÇÃO INTEGRADA DE BIOMASSA EM TERMELÉTRICAS (ENERGIA/ELÉTRICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	Esta tecnologia ainda se encontra em fase de demonstração, com índice TRL 6-7.	
	Potencial de mitigação	1
	Considerando uma taxa de penetração de 4,0% em relação ao ano-base 2015 e as emissões relativas ao setor elétrico para o mesmo ano (tomando a geração elétrica – 571.486 GWh – e o fator de emissão do <i>grid</i> – 0,1244 tCO ₂ /MWh), estima-se um potencial de mitigação de 2.844 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	2
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 45 US\$/tCO ₂ (17).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
	As mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade de biomassa e de recursos hídricos, influenciando diretamente as questões de uso da terra. Ademais, a eficiência das máquinas térmicas também pode sofrer impactos frente às mudanças do clima.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Considera-se que esta tecnologia pode gerar impactos positivos sobre a redução da poluição e benefícios para a saúde, uma vez que substituiria a geração de eletricidade a partir de fontes fósseis e altamente poluentes.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	Em se tratando de um ciclo associado à utilização de biomassa para geração termelétrica, esta opção tecnológica apresenta impactos significativos sobre a disponibilidade de água, dado que tanto a produção de biomassa quanto o próprio ciclo termodinâmico são intensivos no consumo de recursos hídricos.	
	Impacto na produção de alimentos	1
	Em se tratando de um ciclo associado à utilização de biomassa, esta opção tecnológica pode resultar em impactos negativos sobre a produção de alimentos, tanto pelo redirecionamento da biomassa para produção de energia quanto por mudanças no uso da terra, substituindo culturas alimentícias por culturas energéticas.	
	Impacto na biodiversidade	1
	O cultivo de biomassa dedicada para fins energéticos pode gerar impactos negativos sobre a biodiversidade, especialmente se não for respeitado o zoneamento agroecológico, suprimindo-se a vegetação nativa.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	O aproveitamento de recursos renováveis de biomassa, aliado à possibilidade do uso de resíduos agrícolas e florestais, diversifica a composição da matriz energética nacional e pode contribuir positivamente para a disponibilidade de energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que necessita de mão de obra qualificada para a construção e a instalação de gaseificadores e outros equipamentos, bem como para a operação da planta.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	O Brasil é um grande produtor de bioenergia e apresenta vantagens significativas para a expansão do uso da biomassa, especialmente quando considerados os resíduos agrícolas e florestais. Entre os centros de pesquisa, vale ressaltar: Coppe/UFRJ, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Universidade de São Paulo (USP) e Cenpes/Petrobras, que possuem linhas de pesquisa inovadoras acerca da gaseificação da biomassa e seu uso em sistemas de ciclo combinado para geração de energia elétrica.	

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Embora a tecnologia não seja explicitamente destacada pela ENCTI, as sinergias são verificadas, visto que o documento ressalta a importância da bioenergia enquanto alternativa sustentável ao uso ostensivo de fontes fósseis, auxiliando na redução das emissões de GEE e de outros compostos nocivos à saúde humana.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas apontam para a necessidade de ampliação da participação de renováveis e o incentivo à geração a partir da biomassa.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	Embora esta tecnologia não seja explicitamente citada pelo Programa País para o GCF, do Brasil, as sinergias são verificadas, visto que o programa destaca, em seus eixos estratégicos, a necessidade de priorizar incentivos às tecnologias de bioenergia, bem como o fortalecimento de mecanismos que viabilizem a geração a partir da biomassa.	
	Arcabouço institucional	3
O Proinfa, instituído pela Lei nº 10.438/2002, tem por intuito aumentar a participação de energia elétrica produzida a partir de empreendimentos concebidos com fontes renováveis, entre as quais se inclui a biomassa.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ENERGIA SOLAR TÉRMICA (ENERGIA/ELÉTRICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	Já existem plantas de demonstração desta tecnologia em operação. No Brasil, alguns projetos de geração heliotérmica encontram-se em fase de implantação: o Projeto Smile (Sistema Solar Híbrido com Microturbina para Geração de Eletricidade e Cogeração de Calor na Agroindústria) prevê a construção de uma usina heliotérmica em Pirassununga, São Paulo, e outra em Caiçara do Rio do Vento, no Rio Grande do Norte, para geração de eletricidade e cogeração de calor integrado a atividades agroindustriais; e o projeto da Petrobras com a planta de CSP localizada no Vale do Açu, no Rio Grande do Norte, projetada com capacidade de 3 MW, em parceria com o Centro de Tecnologia do Gás e Energia Renovável (CTGAS-ER), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a UFRN.	
	Potencial de mitigação	2
	Considerando uma taxa de penetração de 9,8% em relação ao ano-base 2015 e as emissões relativas ao setor elétrico para o mesmo ano (tomando a geração elétrica – 571.486 GWh – e o fator de emissão do <i>grid</i> – 0,1244 tCO ₂ /MWh), estima-se um potencial de mitigação de 6.967 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	1
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 145 US\$/tCO ₂ (10).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
As mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade de biomassa e de recursos hídricos, influenciando diretamente as questões de uso da terra. Ademais, a eficiência das máquinas térmicas também pode sofrer impactos frente às mudanças do clima.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Considera-se que esta tecnologia pode gerar impactos positivos sobre a redução da poluição e benefícios para a saúde, uma vez que substituiria a geração de eletricidade a partir de fontes fósseis e altamente poluentes.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	Em se tratando de um ciclo associado à utilização de biomassa para geração termelétrica, esta opção tecnológica apresenta impactos significativos sobre a disponibilidade de água, dado que tanto a produção de biomassa quanto o próprio ciclo termodinâmico são intensivos no consumo de recursos hídricos.	
	Impacto na produção de alimentos	1
	Em se tratando de um ciclo associado à utilização de biomassa, esta opção tecnológica pode resultar em impactos negativos sobre a produção de alimentos, tanto pelo redirecionamento da biomassa para produção de energia quanto por mudanças no uso da terra, substituindo culturas alimentícias por culturas energéticas.	
	Impacto na biodiversidade	1
O cultivo de biomassa dedicada para fins energéticos pode gerar impactos negativos sobre a biodiversidade, especialmente se não for respeitado o zoneamento agroecológico, suprimindo-se a vegetação nativa.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	O aproveitamento do recurso solar e de recursos renováveis de biomassa, aliado à possibilidade do uso de resíduos agrícolas e florestais, diversifica a composição da matriz energética nacional e pode contribuir positivamente para a disponibilidade de energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que necessita de mão de obra qualificada para a construção e a instalação dos painéis solares e de outros equipamentos, bem como para a operação da planta.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	O Brasil apresenta significativo potencial solar. Além disso, é um grande produtor de bioenergia, tendo vantagens significativas para a expansão do uso da biomassa, especialmente quando considerados os resíduos agrícolas e florestais. O país já apresenta projetos de geração heliotérmica em andamento (Projeto Smile, em Pirassununga, São Paulo, e em Caiçara do Rio do Vento, no Rio Grande do Norte, e projeto da Petrobras, em parceria com CTGAS-ER, UFSC e UFRN, no Vale do Açu, no Rio Grande do Norte). Ademais, entre os centros dedicados à pesquisa inovadora nesta área, vale ressaltar a Coppe/UFRJ, a UnB, a Unifei, o Cepel/Eletronbras e a UFRJ/Macaé.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Embora a tecnologia não seja explicitamente destacada pela ENCTI, as sinergias são verificadas, visto que o documento ressalta a importância da utilização da energia solar e da bioenergia enquanto alternativa sustentável ao uso ostensivo de fontes fósseis, auxiliando na redução das emissões de GEE e de outros compostos nocivos à saúde humana.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é explicitamente mencionada nas diretrizes para as políticas climáticas nacionais. No entanto, tais políticas apontam para a necessidade de ampliação da participação de renováveis e o incentivo à geração solar e à geração a partir da biomassa.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A tecnologia é explicitamente mencionada pelo Programa País para o GCF, do Brasil. Segundo o programa, a tecnologia solar térmica é promissora, estruturando-se em um arranjo de cogeração que permite a geração limpa de eletricidade e calor. Neste sentido, figura entre as novas tecnologias que devem ser incentivadas e priorizadas para a diversificação da matriz energética brasileira.	
	Arcabouço institucional	3
O Proinfa, instituído pela Lei nº 10.438/2002, tem por intuito aumentar a participação de energia elétrica produzida a partir de empreendimentos concebidos com fonte renovável, entre os quais estão incluídos a energia solar e a biomassa.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SOLAR FOTOVOLTAICA FLUTUANTE (ENERGIA/ELÉTRICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A tecnologia já possui maturidade tecnológica, com índice TRL 9. No Brasil, existe uma planta de geração solar fotovoltaica em reservatório em funcionamento, na hidrelétrica de Balbina, localizada em Presidente Figueiredo, no Amazonas. Resta, contudo, difundir a tecnologia para toda extensão e alcance de aplicação em reservatórios hidrelétricos (TRL 9).	
	Potencial de mitigação	1
	Considerando uma taxa de penetração de 2,1% em relação ao ano-base 2015 e as emissões relativas ao setor elétrico para o mesmo ano (tomando a geração elétrica – 571.486 GWh – e o fator de emissão do <i>grid</i> – 0,1244 tCO ₂ /MWh), estima-se um potencial de mitigação de 1.493 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	2
	A tecnologia apresenta custos de abatimento na faixa de 70 a 84 US\$/tCO ₂ (10).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
As mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade do recurso solar e do recurso hídrico (reservatório hidrelétrico). Neste sentido, avalia-se que a tecnologia é sensível às mudanças do clima.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Considera-se que esta tecnologia pode gerar impactos positivos sobre a redução da poluição e benefícios para a saúde, uma vez que substituiria a geração de eletricidade a partir de fontes fósseis e altamente poluentes.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	A instalação de placas solares fotovoltaicas em reservatórios reduz as taxas de evaporação do reservatório, resultando em impactos positivos sobre a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	2
A instalação de placas solares fotovoltaicas em reservatórios pode impactar negativamente a biodiversidade, afetando a entrada de luminosidade no ambiente do reservatório, alterando suas condições, desacelerando a proliferação de algas e outros organismos.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	5
	Verificam-se impactos significativamente positivos da implementação desta tecnologia sobre a disponibilidade de energia, dado que se utilizaria infraestrutura já existente, promovendo o aproveitamento da disponibilidade de espaço para geração de energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que necessita de mão de obra qualificada para a construção e a instalação dos painéis solares e das estruturas flutuantes.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
São verificadas vantagens competitivas para o Brasil, dado que o país possui um sistema bem desenvolvido de geração hidrelétrica. Ademais, a instalação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios promove o aproveitamento da disponibilidade de espaço, usufruindo da proximidade da água e reduzindo a taxa de evaporação do reservatório. Conforme mencionado, já existe, no Brasil, uma planta de geração solar fotovoltaica flutuante em reservatório em funcionamento, na hidrelétrica de Balbina, localizada em Presidente Figueiredo, no Amazonas. Além disso, entre os centros dedicados à pesquisa inovadora na área, vale ressaltar a Coppe/UFRJ e o Cepel/Eletrobras.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	A ENCTI ressalta o crescente destaque que a geração solar vem ganhando em diversas matrizes energéticas ao redor do mundo, destacando os avanços das pesquisas brasileiras para células solares e o uso da energia solar para o fortalecimento da tecnologia nacional.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	As políticas climáticas nacionais apontam para a necessidade de ampliação da participação de renováveis na matriz energética brasileira e o incentivo à geração solar.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O Programa País para o GCF, do Brasil, enfatiza a necessidade de priorização de propostas que busquem maior diversificação da matriz energética nacional, com destaque para a geração solar fotovoltaica tanto para a geração distribuída quanto para a geração centralizada.	
	Arcabouço institucional	5
	Aplica-se extensa legislação à geração solar fotovoltaica, tanto para a geração centralizada quanto para a geração distribuída. Para projetos de geração solar centralizada acima de 5 MW, é necessária a autorização do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Incentivos regulatórios incluem desconto de 50% para projetos com potência injetada na rede entre 30 e 300 MW, além de leilões federais exclusivos. Incentivos fiscais incluem o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (Reidi), que prevê a suspensão do Programa de Integração Social/Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (PIS/Cofins) para serviços, venda ou importação de máquinas, equipamentos e materiais, além do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays (Padis), com o intuito de atrair investimentos na produção de células, módulos e painéis fotovoltaicos, e insumos estratégicos para a cadeia produtiva.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CAPTURA DE CO₂ EM TERMELÉTRICAS A GÁS NATURAL (ENERGIA/ELÉTRICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	A tecnologia já foi devidamente testada e qualificada, e apresenta índice TRL 8 (4).	
	Potencial de mitigação	1
	Considerando uma taxa de penetração de 1,2% em relação ao ano-base 2015 e as emissões relativas ao setor elétrico para o mesmo ano (tomando a geração elétrica – 571.486 GWh – e o fator de emissão do <i>grid</i> – 0,1244 tCO ₂ /MWh), estima-se um potencial de mitigação de 853 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	2
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 70-84 US\$/tCO ₂ (18).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	Os sistemas de captura de CO ₂ em unidades termelétricas a gás natural são intensivos em recursos hídricos, gerando impactos significativos sobre a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	1
	Sistemas de captura de carbono em unidades termelétricas são sistemas altamente energo-intensivos. Para o caso específico de captura de carbono em termelétricas a gás natural utilizando processos de pós-combustão com aminas, a etapa de regeneração do solvente impõe significativa penalidade energética ao sistema de geração, o que, por sua vez, encarece o custo da energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que necessita de mão de obra qualificada para a construção e a instalação da unidade de captura e seus equipamentos, bem como para a operação da planta.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
	Ainda que haja pesquisa em escala-piloto em plantas de pós-combustão com absorção química na Coppe/UFRJ e na EQ/UFRJ, a tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	Embora a tecnologia não seja explicitamente citada pela ENCTI, o documento menciona a necessidade de incentivo ao desenvolvimento do conhecimento acerca de soluções tecnológicas em áreas como a captura e o armazenamento de carbono.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	As políticas climáticas nacionais não mencionam explicitamente esta tecnologia. Todavia, a PNMC destaca que, mesmo que se trate de tecnologia ainda em estágio de desenvolvimento, devem ser estimuladas formas de fomento para o desenvolvimento desta opção tecnológica.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é mencionada no Programa País para o GCF.	
	Arcabouço institucional	1
	Até então, não foram encontradas informações sobre instrumentos legais, tributos e instituições que estimulem a implementação desta tecnologia, especialmente no que se refere ao transporte e ao armazenamento do carbono capturado.	

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CAPTURE DE CO₂ EM TERMELÉTRICAS A CARVÃO (ENERGIA/ELÉTRICO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	A tecnologia já foi devidamente testada e qualificada, e apresenta índice TRL 8 (4).	
	Potencial de mitigação	2
	Considerando uma taxa de penetração de 1,2% em relação ao ano-base 2015 e as emissões relativas ao setor elétrico para o mesmo ano (tomando a geração elétrica – 571.486 GWh – e o fator de emissão do <i>grid</i> – 0,1244 tCO ₂ /MWh), estima-se um potencial de mitigação de 853 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	2
	A tecnologia apresenta custos de abatimento em torno de 70 US\$/tCO ₂ (18).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	Embora a tecnologia promova reduções nas emissões de GEE (nível global), não afeta diretamente a redução da poluição a nível local.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	Os sistemas de captura de CO ₂ em unidades termelétricas a carvão são intensivos em recursos hídricos, gerando impactos significativos sobre a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	1
	Sistemas de captura de carbono em unidades termelétricas são altamente energo-intensivos. Para o caso específico de captura de carbono em termelétricas a carvão, três diferentes abordagens podem ser configuradas: a captura pós-combustão, a captura pré-combustão e a captura via oxicombustão. Para os casos da pós-combustão e da pré-combustão, a etapa de regeneração do solvente impõe significativa penalidade energética ao sistema de geração. Já para o caso da oxicombustão, soma-se a penalidade energética imposta pela unidade de separação de ar, necessária ao suprimento de oxigênio para o sistema, resultando em aumento do custo da energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A implementação desta tecnologia resulta em impactos positivos sobre a geração de emprego e renda, uma vez que necessita de mão de obra qualificada para a construção e a instalação da unidade de captura e seus equipamentos, bem como para a operação da planta.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
Entre os centros dedicados à pesquisa inovadora acerca da captura de carbono em termelétricas a carvão, vale ressaltar a Associação Brasileira do Carvão Mineral (ABCM), a Coppe/UFRJ, a EQ/UFRJ e o Centro Tecnológico de Carvão Limpo (CTCL) da Faculdade SATC, que está desenvolvendo uma planta-piloto pioneira no mundo em captura de CO ₂ pós-combustão por adsorção com tecnologia de leito movente.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Embora esta tecnologia não seja explicitamente citada pela ENCTI, o documento ressalta a importância do carvão mineral enquanto recurso energético para o país, destacando o grande desafio que representa o desenvolvimento de tecnologias limpas para produção e uso do carvão mineral no setor energético nacional.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	3
	As políticas climáticas nacionais não mencionam explicitamente esta tecnologia. Todavia, a PNMC destaca que, mesmo que se trate de tecnologia ainda em estágio de desenvolvimento, devem ser estimuladas formas de fomento para o desenvolvimento desta opção tecnológica.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é mencionada no Programa País para o GCF.	
	Arcabouço institucional	1
Até então, não foram encontradas informações sobre instrumentos legais, tributos e instituições que estimulem a implementação desta tecnologia, especialmente no que se refere ao transporte e ao armazenamento do carbono capturado.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO (ENERGIA/BIOCOMBUSTÍVEIS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	A tecnologia encontra-se em fase de demonstração, com índice TRL 6-7 (19).	
	Potencial de mitigação	1
	Para estimar o potencial de mitigação desta tecnologia, considerou-se que todo bagaço excedente seria direcionado à produção de etanol de segunda geração. Para a geração elétrica total utilizando bagaço, no ano-base 2015, de 46 TWh, com eficiência de 35% e cerca de 10% de bagaço excedente, foram estimados 5,3 Mt de bagaço excedente. Tomando a proporção média de 55% de cana destinada à produção de etanol em destilarias anexas, o rendimento de 73 litros de etanol por tonelada de cana, a proporção de 0,244 toneladas de bagaço combustível por tonelada de cana moída e o fator de emissão do etanol de 2,239 kgCO ₂ /l, foi estimado um potencial de mitigação de 1.956 ktCO ₂ eq por ano (8, 9).	
	Custo de mitigação	2
	Estima-se que os custos de abatimento relativos a esta tecnologia estejam na faixa entre 25 e 100 US\$/tCO ₂ .	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
	As mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade de biomassa e de recursos hídricos, influenciando diretamente as questões de uso da terra. Neste sentido, avalia-se que a tecnologia é sensível às mudanças do clima.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	A produção de biocombustíveis avançados é altamente intensiva em recursos hídricos, resultando em impacto significativo sobre a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Ao utilizar o bagaço excedente para a produção de etanol de segunda geração, são verificados impactos positivos sobre a disponibilidade de energia, dado que se aumenta a disponibilidade de biocombustíveis no mercado nacional.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	5
	O setor sucroenergético brasileiro impacta positivamente a geração de emprego e renda e a redução da desigualdade social, especialmente nas zonas rurais.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor de etanol. O setor sucroenergético brasileiro, responsável pela produção de açúcar, etanol e bioeletricidade, é bem desenvolvido e consolidado no cenário nacional. Diversos centros de pesquisa no país dedicam-se a estudar estratégias inovadoras para o desenvolvimento do etanol de segunda geração, entre os quais vale ressaltar a Coppe/UFRJ, a EQ/UFRJ, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), a Unicamp e a USP.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	A ENCTI destaca os investimentos feitos por meio do Plano Conjunto BNDES-Finep de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucoenergético e Sucoquímico e a atuação do CTBE em pesquisa e desenvolvimento para a produção de etanol lignocelulósico, desenvolvimento de enzimas, micro-organismos e bioprodutos. Além disso, o documento sinaliza a necessidade de apoio à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação no âmbito dos biocombustíveis, notadamente o etanol.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A NDC do Brasil inclui, em seu escopo, o aumento da participação da bioenergia sustentável na matriz energética nacional, com destaque para o aumento da oferta de etanol e para a parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração). O programa RenovaBio destaca, em suas diretrizes, assegurar a participação competitiva dos biocombustíveis na matriz energética brasileira e a criação de mecanismos que estimulem a competitividade do etanol.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O Programa País para o GCF, do Brasil, destaca a necessidade de se priorizar investimentos em tecnologias para a produção de biocombustíveis avançados, com foco em tecnologias de segunda geração e posteriores, e a oportunidade de criar condições para implementação de tais tecnologias em plantas de etanol.	
	Arcabouço institucional	5
	O etanol é um produto devidamente certificado e especificado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
DIESEL BIOCOMBUSTÍVEL (ENERGIA/BIOCOMBUSTÍVEIS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	As principais rotas tecnológicas consideradas para a produção de <i>diesel</i> biocombustível foram a pirólise (TRL 4-6), a liquefação hidrotérmica (TRL 4-5) e a gaseificação seguida de Síntese de Fischer-Tropsch (TRL 6-7) (20). Neste contexto, verifica-se que duas das principais rotas consideradas já estão em fase de demonstração, o que confere nota 3 para este indicador.	
	Potencial de mitigação	5
	Considera-se que o <i>diesel</i> biocombustível substituiria o óleo <i>diesel</i> convencional. Neste sentido, tomando como base o consumo de óleo <i>diesel</i> em 2015, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) (8), de aproximadamente 35 bilhões de litros, e o fator de emissão do óleo <i>diesel</i> , segundo o Inventário Brasileiro de Emissões (21), equivalente a 2,632 kgCO ₂ /l, estima-se um potencial de mitigação de 92.120 ktCO ₂ eq por ano.	
	Custo de mitigação	2
	Estima-se que os custos de abatimento relativos a esta tecnologia estejam na faixa entre 25 e 100 US\$/tCO ₂ .	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
	As mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade de biomassa e de recursos hídricos, influenciando diretamente as questões de uso da terra. Neste sentido, avalia-se que a tecnologia é sensível às mudanças do clima.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Os biocombustíveis avançados possuem baixos teores de enxofre e outros componentes poluentes, o que resulta em impactos positivos na redução da poluição e em benefícios para a saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	A produção de biocombustíveis avançados é altamente intensiva em recursos hídricos, resultando em impacto significativo sobre a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	1
	A produção de biocombustíveis avançados pode resultar em impactos negativos sobre a produção de alimentos, tanto pelo redirecionamento da biomassa para produção de energia quanto por mudanças no uso da terra, substituindo culturas alimentícias por culturas energéticas.	
	Impacto na biodiversidade	1
O cultivo de biomassa dedicada para fins energéticos pode gerar impactos negativos sobre a biodiversidade, especialmente se não for respeitado o zoneamento agroecológico, suprimindo-se a vegetação nativa.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Ao utilizar biomassa para a produção de biocombustíveis avançados, neste caso, <i>diesel</i> biocombustível, são verificados impactos positivos sobre a disponibilidade de energia, dado que se aumenta a disponibilidade de biocombustíveis no mercado nacional.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	5
	O desenvolvimento de cadeias produtivas de biocombustíveis avançados gera impactos positivos sobre a geração de emprego e renda e redução da desigualdade social, por meio da geração de novos postos de trabalho em todos os âmbitos da cadeia, da necessidade de mão de obra qualificada e da produção de biocombustíveis de alta qualidade e valor agregado.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é um grande produtor de bioenergia e apresenta vantagens significativas para a expansão do uso da biomassa, especialmente quando considerados os resíduos agrícolas e florestais. Entre os centros de pesquisa que se dedicam ao estudo de rotas e estratégias inovadoras para a produção de biocombustíveis avançados no país, em especial o <i>diesel</i> biocombustível, vale ressaltar a Coppe/UFRJ, a EQ/UFRJ, a Unicamp e o Cenpes/Petrobras.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A ENCTI destaca a necessidade de apoio à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação no âmbito dos biocombustíveis, com o intuito de aumentar sua competitividade, tendo em vista sua importância econômica, social e ambiental.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A NDC do Brasil inclui, em seu escopo, o aumento da participação da bioenergia sustentável na matriz energética nacional, com destaque para o aumento de biocombustíveis avançados. O programa RenovaBio destaca, em suas diretrizes, assegurar a participação competitiva dos biocombustíveis na matriz energética brasileira e a criação de mecanismos que estimulem sua competitividade.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O Programa País para o GCF, do Brasil, destaca a necessidade de se priorizar investimentos em tecnologias para a produção de biocombustíveis avançados.	
	Arcabouço institucional	4
	As variadas rotas tecnológicas para a produção de <i>diesel</i> biocombustível ainda não são explicitamente especificadas. No entanto, como o <i>diesel</i> biocombustível não difere do óleo <i>diesel</i> convencional, ao contrário, é um combustível de maior qualidade (menor quantidade de enxofre, impurezas, entre outros), considera-se que o arcabouço institucional para sua implementação seja favorável, conferindo nota 4 para este indicador.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
BIOJET (ENERGIA/BIOCOMBUSTÍVEIS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	As principais rotas tecnológicas consideradas para a produção de <i>biojet</i> foram a pirólise (TRL 4-6), a liquefação hidrotérmica (TRL 4-5), a gaseificação seguida de Síntese de Fischer-Tropsch (TRL 6-7) (20) e a rota ATJ (TRL 5) (22). Neste contexto, verifica-se que três das principais rotas consideradas ainda estão em fase de desenvolvimento de plantas-piloto, o que confere nota 2 para este indicador.	
	Potencial de mitigação	3
	Considera-se que o <i>biojet</i> substituiria o querosene de aviação. Neste sentido, tomando como base o consumo de querosene de aviação em 2015, segundo o BEN (8), de, aproximadamente, 4,4 bilhões de litros, e o fator de emissão do óleo <i>diesel</i> , segundo o Inventário Brasileiro de Emissões (21), equivalente a 2,488 kgCO ₂ /l, estima-se um potencial de mitigação de 10.925 ktCO ₂ eq por ano.	
	Custo de mitigação	2
	Estima-se que os custos de abatimento relativos a esta tecnologia estejam na faixa entre 25 e 100 US\$/tCO ₂ .	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
As mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade de biomassa e de recursos hídricos, influenciando diretamente as questões de uso da terra. Neste sentido, avalia-se que a tecnologia é sensível às mudanças do clima.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Os biocombustíveis avançados possuem baixos teores de enxofre e outros componentes poluentes, o que resulta em impactos positivos na redução da poluição e em benefícios para a saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	A produção de biocombustíveis avançados é altamente intensiva em recursos hídricos, resultando em impacto significativo sobre a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	1
	A produção de biocombustíveis avançados pode resultar em impactos negativos sobre a produção de alimentos, tanto pelo redirecionamento da biomassa para produção de energia quanto por mudanças no uso da terra, substituindo culturas alimentícias por culturas energéticas.	
	Impacto na biodiversidade	1
O cultivo de biomassa dedicada para fins energéticos pode gerar impactos negativos sobre a biodiversidade, especialmente se não for respeitado o zoneamento agroecológico, suprimindo-se a vegetação nativa.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Ao utilizar biomassa para a produção de biocombustíveis avançados (neste caso, <i>biojet</i>), são verificados impactos positivos sobre a disponibilidade de energia, dado que se aumenta a disponibilidade de biocombustíveis no mercado nacional.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	5
	impactos positivos sobre a geração de emprego e renda e redução da desigualdade social, por meio da geração de novos postos de trabalho em todos os âmbitos da cadeia, da necessidade de mão de obra qualificada e da produção de biocombustíveis de alta qualidade e valor agregado.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é um grande produtor de bioenergia e apresenta vantagens significativas para a expansão do uso da biomassa, especialmente quando considerados os resíduos agrícolas e florestais. Entre os centros de pesquisa que se dedicam ao estudo de rotas e estratégias inovadoras para a produção de biocombustíveis avançados no Brasil, em especial o <i>biojet</i> , vale ressaltar a Coppe/UFRJ, a Unicamp, o ITA e o Cenpes/Petrobras. A Embraer, em parceria com a Boeing, a World Wide Fund for Nature (WWF), a Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), vem investindo na pesquisa para identificação de matérias-primas, oportunidades e desafios para o desenvolvimento de uma cadeia de produção e distribuição sustentável e custo-efetiva de <i>biojet</i> no Brasil (23).		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	A ENCTI destaca a necessidade de apoio à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação no âmbito dos biocombustíveis, notadamente o bioquerosene de aviação, com o intuito de aumentar sua competitividade, tendo em vista sua importância econômica, social e ambiental.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A NDC do Brasil inclui, em seu escopo, o aumento da participação da bioenergia sustentável na matriz energética nacional, com destaque para o aumento de biocombustíveis avançados. O programa Renovabio destaca, em suas diretrizes, assegurar a participação competitiva dos biocombustíveis na matriz energética brasileira e a criação de mecanismos que estimulem sua competitividade, notadamente o bioquerosene de aviação.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O Programa País para o GCF, do Brasil, destaca a necessidade de priorizar investimentos em tecnologias para a produção de biocombustíveis avançados.	
	Arcabouço institucional	4
	Os biocombustíveis avançados para aviação já se encontram especificados e certificados pela International Air Transport Association (IATA).	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
BIOBUNKER PARA NAVEGAÇÃO (ENERGIA/BIOCOMBUSTÍVEIS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	As principais rotas tecnológicas consideradas para a produção de <i>diesel</i> biocombustível foram a pirólise (TRL 4-6), a liquefação hidrotérmica (TRL 4-5), a gaseificação seguida de Síntese de Fischer-Tropsch (TRL 6-7) e a gaseificação seguida de síntese de biometanol/DME (TRL 4-5) (20). Neste contexto, verifica-se que duas das principais rotas consideradas já estão em fase de demonstração, o que confere nota 3 para este indicador.	
	Potencial de mitigação	1
	Considera-se que o <i>biobunker</i> para navegação substituiria o óleo <i>diesel</i> hidroviário e o óleo combustível. Neste sentido, tomando como base os consumos de óleo <i>diesel</i> hidroviário e óleo combustível em 2015, segundo o BEN (8), de, aproximadamente, 283 mil m ³ e 757 mil m ³ , respectivamente, e os fatores de emissão do óleo <i>diesel</i> hidroviário e do óleo combustível, segundo o Inventário Brasileiro de Emissões (21), 2.632,1 kgCO ₂ /m ³ e 3.107,7 kgCO ₂ /m ³ , respectivamente, estima-se um potencial de mitigação de 3.097 ktCO ₂ eq por ano.	
	Custo de mitigação	2
	Estima-se que os custos de abatimento relativos a esta tecnologia estejam na faixa entre 25 e 100 US\$/tCO ₂ .	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
	As mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade de biomassa e de recursos hídricos, influenciando diretamente as questões de uso da terra. Neste sentido, avalia-se que a tecnologia é sensível às mudanças do clima.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Os biocombustíveis avançados possuem baixos teores de enxofre e outros componentes poluentes, o que resulta em impactos positivos na redução da poluição e em benefícios para a saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	1
	A produção de biocombustíveis avançados é altamente intensiva em recursos hídricos, resultando em impacto significativo sobre a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	1
	A produção de biocombustíveis avançados pode resultar em impactos negativos sobre a produção de alimentos, tanto pelo redirecionamento da biomassa para produção de energia quanto por mudanças no uso da terra, substituindo culturas alimentícias por culturas energéticas.	
	Impacto na biodiversidade	1
O cultivo de biomassa dedicada para fins energéticos pode gerar impactos negativos sobre a biodiversidade, especialmente se não for respeitado o zoneamento agroecológico, suprimindo-se a vegetação nativa.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Ao utilizar biomassa para a produção de biocombustíveis avançados (neste caso, <i>biobunker</i>), são verificados impactos positivos sobre a disponibilidade de energia, dado que se aumenta a disponibilidade de biocombustíveis no mercado nacional.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	5
	Impactos positivos sobre a geração de emprego e renda e a redução da desigualdade social, por meio da geração de novos postos de trabalho em todos os âmbitos da cadeia, da necessidade de mão de obra qualificada e da produção de biocombustíveis de alta qualidade e valor agregado.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é um grande produtor de bioenergia e apresenta vantagens significativas para a expansão do uso da biomassa, especialmente quando considerados os resíduos agrícolas e florestais. Entre os centros de pesquisa que se dedicam ao estudo de rotas e estratégias inovadoras para a produção de biocombustíveis avançados no Brasil, em especial o <i>biobunker</i> , vale ressaltar a Coppe/UFRJ, a EQ/UFRJ e o Cenpes/Petrobras.		

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A ENCTI destaca a necessidade de apoio à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação no âmbito dos biocombustíveis, com o intuito de aumentar sua competitividade, tendo em vista sua importância econômica, social e ambiental.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A NDC do Brasil inclui, em seu escopo, o aumento da participação da bioenergia sustentável na matriz energética nacional, com destaque para o aumento de biocombustíveis avançados. O programa RenovaBio destaca, em suas diretrizes, assegurar a participação competitiva dos biocombustíveis na matriz energética brasileira e a criação de mecanismos que estimulem sua competitividade.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O Programa País para o GCF, do Brasil, destaca a necessidade de priorizar investimentos em tecnologias para a produção de biocombustíveis avançados.	
	Arcabouço institucional	2
	Os biocombustíveis avançados para uso marítimo ainda não são especificados ou certificados por agências nacionais nem por agências internacionais.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS (TRANSPORTES/RODOVIÁRIO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	Veículos autônomos (automatizados e conectados) estão em fase de teste, ainda em escala inferior à operacional (1). Assim, seu TRL está entre 6 e 7.	
	Potencial de mitigação	5
	Estima-se que o principal efeito do compartilhamento seria o aumento do fator de ocupação de veículos leves de 1,5 para 2,5 passageiros por veículo, o que pode ser interpretado como uma redução virtual do número de veículos da frota, o qual correspondia a 32 milhões em 2015 (2). Assim, com base no consumo anual de gasolina em 2015, de 30,2 bilhões de litros (3), e considerando o consumo específico de 10 km/l em veículos leves movidos a gasolina, calcula-se o serviço útil em termos de passageiro-quilômetro (pkm) total da frota não compartilhada. Admitindo-se que o pkm (serviço útil) mantém-se constante, estima-se, então, que a frota de veículos cairia para 19,2 milhões com o compartilhamento. Presumindo-se, de forma conservadora, que todos estes veículos continuariam sendo abastecidos apenas com gasolina, calcula-se um potencial de mitigação equivalente a 27 mil GgCO ₂ , proveniente apenas do aumento da ocupação dos veículos.	
	Custo de mitigação	1
	O compartilhamento de veículos em si não se traduz em custos elevados, sendo a maior parte dos custos advinda do desenvolvimento da tecnologia de veículos autônomos e conectados. De acordo com a discussão e as estimativas de (4), o <i>total cost of ownership</i> (TCO) de veículos autônomos, ou seja, o custo total de propriedade por km, seria, em média, de cerca de 0,80 US\$/milha, o equivalente a 0,50 US\$/km. Já para os veículos ICE a gasolina, o TCO é estipulado em 0,355 US\$/km (5). Com base nestes valores e na quilometragem calculada para a frota de veículos movidos a gasolina em 2015, de 302 bilhões de km, calcula-se um custo total anual de 151 bilhões de US\$ para os veículos autônomos, 43,8 bilhões de US\$ a mais do que para os ICE gasolina. Assim, dividindo a diferença entre os custos totais pelo potencial de mitigação de 27 mil GgCO ₂ , o custo de abatimento para veículos autônomos compartilhados seria de 1.619 US\$/tCO ₂ . Este valor reflete o grau de TRL da tecnologia, que ainda não está completamente desenvolvida.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	A redução da frota de veículos leves circulando no meio urbano traz significativas reduções das emissões, traduzindo-se na redução de poluição urbana e em benefícios à saúde da população.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	O compartilhamento de corridas por meio de aplicativos, em um primeiro momento, gera um aumento no número de empregos para motoristas de aplicativos, o que tem um impacto positivo na geração de renda. Contudo, a inserção de veículos autônomos vai na contramão desta tendência, reduzindo a necessidade de motoristas para veículos compartilhados. Assim, considera-se que os efeitos da tecnologia sobre a geração de emprego e renda se anulam.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
	Centros e projetos de pesquisa no Brasil incluem o Centro de Mobilidade Sustentável (Mob-i), integrado ao Programa de Mobilidade Inteligente da Itaipu Binacional, que desenvolve ações e projetos relacionados à mobilidade sustentável, apoiando a gestão e a operação dos projetos-piloto de monitoramento e compartilhamento de veículos elétricos, como: Eco-Elétrico Curitiba, Ecomóvel Brasília, Mob-i ONU e Mob-i Itaipu (6, 7).	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	O documento enfatiza a importância da conectividade e da internet das coisas, citando, entre suas aplicações, o controle eficiente do tráfego automotivo e “carros conectados que podem atuar de forma ativa na prevenção de acidentes e até mesmo se conduzirem de forma autônoma” (8).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC menciona o uso de tecnologia da informação e da comunicação nos serviços de transporte (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento cita a melhoria no <i>passenger load factor</i> , ou seja, do fator de ocupação dos veículos, como elemento importante para aumentar a eficiência no uso e diminuir as emissões do transporte urbano no Brasil (10).	
	Arcabouço institucional	1
Não existe marco regulatório para veículos autônomos e há barreiras relacionadas tanto à dificuldade de regulamentar o funcionamento dinâmico de um veículo autônomo quanto à falta de aceitação pública e a questões éticas que envolvem a responsabilidade no trânsito (11).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
NAVEGAÇÃO DE CABOTAGEM A GÁS NATURAL (TRANSPORTES/HIDROVIÁRIO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	O <i>design</i> de navios movidos a gás natural liquefeito (GNL), os sistemas embarcados e as tecnologias requeridas para o uso de GNL como combustível marítimo podem ser considerados tecnologias provadas e maduras (12). Desafios tecnológicos, neste caso, envolvem tanto melhorias na motorização e tancagem do gás natural nas embarcações, conforme seu uso e tipo, quanto o desenvolvimento do próprio sistema de abastecimento de GNL às embarcações.	
	Potencial de mitigação	1
	O uso de GNL em substituição ao uso de óleo combustível na cabotagem pode reduzir as emissões de CO ₂ em cerca de 20% (12). Porém, as emissões totais da atividade de cabotagem no Brasil em 2015 são menores do que o mínimo de mitigação para se alcançar nota maior que 1.	
	Custo de mitigação	4
	Não foi possível estimar quantitativamente os custos para a tecnologia, por isso a discussão ocorre de forma qualitativa. Os custos de implementação da tecnologia referem-se à adaptação das embarcações ao uso de GNL e à infraestrutura de abastecimento. Em comparação com embarcações a óleo combustível, os custos de investimento são bem mais altos, havendo, também, uma redução na capacidade de carga transportada. Porém os custos de operação são bem mais baixos (12). Apesar destes <i>trade-offs</i> , diante da disponibilidade de GN no Brasil e como a tecnologia já é desenvolvida, os custos são considerados relativamente baixos.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
O transporte por cabotagem mostra-se um pouco vulnerável frente a alterações climáticas como a maior ocorrência de eventos naturais extremos.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	O uso de GN em detrimento do de óleo combustível reduz significativamente as emissões de compostos nocivos à saúde, como SOx, NOx e material particulado (12). Contudo, devido à atividade ocorrer no ambiente marítimo e não no urbano, os benefícios para a saúde da população são relativamente menores.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	2
	Pode haver uma competição pelo uso de GN com outros setores.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A produção de GN impulsiona a indústria de óleo e gás <i>offshore</i> , que tem grande porte no Brasil, dado que a produção de óleo vem declinando. Assim, há possibilidade de manter e/ou gerar empregos e renda na indústria.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
Boa disponibilidade de GN, o que pode vir a tornar seu uso como combustível marítimo economicamente interessante (12) e bom potencial para o transporte por cabotagem (13), principalmente frente à mudança do modal rodoviário para o hidroviário. Contudo, atualmente, a atividade ainda é restrita.		

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	O documento expressa apoio à produção de gás natural <i>offshore</i> .	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	PNMC destaca a expansão do sistema aquaviário (navegação interior, cabotagem e longo curso) para o transporte de cargas (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento considera tanto a mudança do modal rodoviário para o hidroviário para o transporte de cargas quanto a utilização de combustíveis menos poluentes (10).	
	Arcabouço institucional	2
	A cabotagem no Brasil enfrenta diversas dificuldades, sendo: a ineficiência portuária e as altas tarifas incidentes no setor (como carregamento, descarregamento e armazenagem de mercadorias); o elevado tempo de espera para atracação de navios, com alguns portos dando preferência à atracação de navios de longo curso; a elevada burocracia nas operações em portos; o regime tributário complexo; a pequena quantidade de rotas regulares, com baixa frequência das existentes; as inadequações na infraestrutura portuária e na infraestrutura que viabiliza a integração intermodal (13, 14).	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SUBSTITUIÇÃO POR NOVOS MATERIAIS MAIS LEVES EM VEÍCULOS (TRANSPORTES/RODOVIÁRIO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	As principais necessidades estão relacionadas ao melhor conhecimento das propriedades dos materiais em si e dos processos relacionados à sua produção e à produção de ligas. Assim, apesar de já serem empregados na indústria, suas aplicações para o setor de transportes ainda estão em fase de desenvolvimento, aprimoramento e testes (15, 16). Seu TRL é dado como 6.	
	Potencial de mitigação	1
	O consumo estimado de <i>diesel</i> , em 2015, pelo transporte rodoviário de cargas foi de cerca de 35 bilhões de litros (3, 17). Considerando um fator de emissão do <i>diesel</i> de 2,632 kgCO ₂ /l (18), calcula-se que as emissões foram de 92.123,2 GgCO ₂ para o transporte rodoviário de veículos pesados. Estima-se que a redução de emissões pelo uso de materiais mais leves seja de cerca de 4% em veículos pesados (19). Assim, o potencial de mitigação seria de 3.684,9 GgCO ₂ .	
	Custo de mitigação	5
	Estudo de (19) mostrou que os custos da aplicação de materiais mais leves em veículos pesados podem variar entre 300 e 5.000 euros, com um tempo de retorno (<i>payback</i>) de um a oito anos. Contudo, materiais mais avançados podem tornar a implementação mais cara. O relatório de (20) mostra que o TCO de caminhões ICE a <i>diesel</i> é de 0,8 US\$/km, sendo que 0,4 US\$/km corresponde a gastos com combustível. Assim, uma redução de 4% no consumo de combustível levaria o TCO de caminhões ICE a <i>diesel</i> com materiais mais leves para 0,784 US\$/km. Ou seja, para uma frota de 1,5 milhão de caminhões e 189 bilhões de km rodados por ano (35 bilhões de litros de <i>diesel</i> e consumo específico de 5,4 km/l (17), haveria economia anual de 3 bilhões de US\$. Para cada caminhão, seria uma economia anual de 2.000 US\$. Assim, se o custo anual da implantação de materiais mais leves for menor ou igual a esta economia, o custo de abatimento é negativo. Considerando-se um investimento de 5.000 US\$ (pouco menor que 5.000 euros) e uma vida útil de dez anos para o caminhão, o custo anualizado aproximado seria de 500 US\$, que é menor que a economia anual de combustível alcançada, resultando em um custo de abatimento negativo.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
Redução no peso dos veículos demanda menor uso de combustível, reduzindo as emissões do transporte urbano.		
Impacto na disponibilidade de água		3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Impacto na produção de alimentos		3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Impacto na biodiversidade		3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia reduz o consumo de combustível, diminuindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	Medida de eficiência energética (21).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	O documento apenas considera medidas que aumentem a eficiência energética de motores veiculares (10).	
	Arcabouço institucional	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
MOTORES COM TURBOCOMPOUND ELÉTRICO (TRANSPORTES/RODOVIÁRIO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	A tecnologia já existe e o Tigers é vendido (22), mas não é amplamente aplicada e difundida no mercado. Assim, considera-se que seu TRL é 8.	
	Potencial de mitigação	1
	O consumo estimado de <i>diesel</i> , em 2015, pelo transporte rodoviário de cargas foi de cerca de 35 bilhões de litros (3,17). Considerando um fator de emissão do <i>diesel</i> de 2,632 kgCO ₂ /l (18), calcula-se que as emissões foram de 92.123,2 GgCO ₂ para o transporte rodoviário de veículos pesados. Estima-se que a redução de emissões pelo uso de <i>turbocompounds</i> elétricos seja de cerca de 2% em veículos pesados (18), o que se traduz em um potencial de mitigação de 1.842,5 GgCO ₂ .	
	Custo de mitigação	5
	Estudo de (19) mostrou que os custos por veículo pesado seriam de cerca de 7.000 euros, com tempo de retorno (<i>payback</i>) que poderia chegar a mais de 80 anos. O relatório de (20) mostra que o TCO de caminhões ICE a <i>diesel</i> é de 0,8 US\$/km, sendo que 0,4 US\$/km corresponde a gastos com combustível. Assim, uma redução de 2% nestes gastos levaria o TCO de caminhões ICE a <i>diesel</i> com <i>turbocompound</i> elétrico para 0,792 US\$/km. Ou seja, para uma frota de 1,5 milhão de caminhões e 189 bilhões de km rodados por ano (35 bilhões de litros de <i>diesel</i> e consumo específico de 5,4 km/l (17), geraria economia anual de 1,5 bilhão de US\$. Para cada caminhão, seria uma economia anual de 1.000 US\$. Assim, se o custo anual da instalação do <i>turbocompound</i> elétrico for menor ou igual a esta economia, o custo de abatimento é negativo. Considerando-se um investimento de 7.000 US\$ (pouco menor que 7.000 euros) e uma vida útil de dez anos para o caminhão, o custo anualizado aproximado seria de 700 US\$, que é menor que a economia anual de combustível alcançada, resultando em um custo de abatimento negativo.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Reduz o uso de combustível, diminuindo as emissões do transporte urbano.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia reduz o consumo de combustível, diminuindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	Apesar de a empresa Federal Mogul, da Tenneco Powertrain, que produz o Tigers, ter sede no país (22), não se considera que a produção terá escala para gerar mais empregos ou renda. Assim, a tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
	Apesar de a empresa Federal Mogul, da Tenneco Powertrain, que produz o Tigers, ter sede no país (22), não se considera que o Brasil tenha vantagem sobre outros países. Assim, a tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	Medida de eficiência energética (21).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	O documento apenas considera medidas que aumentem a eficiência energética de motores veiculares (10).	
	Arcabouço institucional	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SISTEMA INTELIGENTE DE COMBOIO (TRANSPORTES/RODOVIÁRIO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	Houve testes com motoristas a bordo e a tecnologia já funciona. O projeto Ensemble pretende testar o sistema real nas ruas em 2021 (23, 24). Assim, seu TRL é 6.	
	Potencial de mitigação	2
	A redução de consumo de combustível chega a 10%, considerando a média entre o caminhão líder e os demais, que têm reduções maiores que o líder (2, 25). O consumo estimado de <i>diesel</i> , em 2015, pelo transporte rodoviário de cargas foi de cerca de 35 bilhões de litros (3, 17). Considerando um fator de emissão do <i>diesel</i> de 2,632 kgCO ₂ /l (18), calcula-se que as emissões foram de 92.123,2 GgCO ₂ para o transporte rodoviário de veículos pesados. Assim, o potencial de mitigação chegaria a 9.212 GgCO ₂ .	
	Custo de mitigação	5
	Não foram encontradas estimativas quantitativas para os custos de implementação de sistemas inteligentes de comboio. Contudo, os custos da tecnologia estão associados a alterações nos caminhões, e não a grandes mudanças estruturais, as quais ainda podem ser compensadas com a redução de 10% dos gastos com combustível. O relatório de (20) mostra que o TCO de caminhões ICE a <i>diesel</i> é de 0,8 US\$/km, sendo que 0,4 US\$/km corresponde a gastos com combustível. Assim, uma redução de 10% nestes gastos levaria o TCO de caminhões ICE a <i>diesel</i> com sistema inteligente de comboio para 0,76 US\$/km. Ou seja, para uma frota de 1,5 milhão de caminhões e 189 bilhões de km rodados por ano (35 bilhões de litros de <i>diesel</i> e consumo específico de 5,4 km/l (17), geraria economia anual de 7,5 bilhões de US\$. Para cada caminhão, seria uma economia anual de 5.000 US\$. Assim, se o custo anual da implementação do sistema de comboio for menor ou igual a esta economia, o custo de abatimento é negativo. Considerando dez anos de vida útil para o caminhão, para que o custo de abatimento fosse positivo, seria preciso um investimento inicial da ordem de 50.000 US\$ por caminhão.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
A redução de cerca de 10% no consumo de <i>diesel</i> leva à redução da poluição urbana.		
Impacto na disponibilidade de água		3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Impacto na produção de alimentos		3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Impacto na biodiversidade		3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia reduz o consumo de combustível, diminuindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	2
	A disseminação do uso do sistema de comboio para o transporte de cargas tende a dispensar a presença de motoristas nos caminhões que seguem o caminhão líder. Assim, em um país altamente dependente do transporte de cargas rodoviário, o número de caminhoneiros empregados poderia sofrer uma queda substancial.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
	Grande espaço para aplicação da tecnologia, já que a maior parte do transporte de cargas é feita por meio de caminhões rodoviários.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC menciona o uso de tecnologia da informação e da comunicação nos serviços de transporte (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Arcabouço institucional	1
Dificuldade em criar um marco regulatório, com definição de responsabilidades e especificações técnicas.		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
VEÍCULOS HÍBRIDOS FLEX (TRANSPORTES/RODOVIÁRIO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	Em março de 2019, a Toyota apresentou o protótipo do primeiro veículo híbrido <i>flex</i> do mundo, no Brasil (26). O veículo foi submetido a três anos de testes em escala de laboratório e, agora, a empresa deu início à fase de testes de rodagem, que, primeiramente, consistirá em percorrer um trecho de mais de 1.500 km entre o estado de São Paulo e o Distrito Federal, para avaliar o conjunto motor-transmissão quando abastecido com etanol nas estradas brasileiras. Os dados coletados informarão a <i>performance</i> do carro e servirão para possíveis ajustes. O lançamento comercial do veículo ocorreu no final de 2019. Em função disso, foi atribuída nota máxima à tecnologia neste critério.	
	Potencial de mitigação	5
	Sob as premissas de que um veículo <i>flex</i> com motor a combustão interna (MCI) apresenta um consumo específico de 10km/l e de que o híbrido <i>flex</i> apresentaria um consumo médio na cidade de 20km/l (27), ou seja, seria 50% mais eficiente que o MCI, o consumo de gasolina automotiva em 2015 (3) cairia pela metade. Considerando o fator de emissão da gasolina como 2,239 kgCO ₂ /l (18), o aumento de eficiência resulta em uma redução das emissões de 33.813 GgCO ₂ . Se, ao invés da gasolina, for utilizado o etanol como combustível para o motor híbrido <i>flex</i> , essa redução é ainda maior.	
	Custo de mitigação	2
	Apesar do elevado custo de aquisição de carros híbridos, com o da Toyota estimado em cerca de R\$ 130 mil (28), aproximadamente três vezes o preço de um carro popular, durante a vida útil haverá significativa economia de combustível. Custos adicionais, como seguro e consertos/manutenção, devem ser mais caros que os de um carro convencional, por ser uma tecnologia nova no mercado. Segundo o relatório de (5), o TCO de veículos a gasolina é de 0,355 US\$/km. Já para veículos híbridos, seria de 0,36 US\$/km. Assume-se que, em 2015, os veículos a gasolina rodaram cerca de 302 bilhões de km – 30,2 bilhões de litros de gasolina consumidos (3) a um consumo específico de 10 km/l. Sendo assim, o custo total anual da frota de veículos híbridos seria de 108,7 bilhões de US\$, 1,5 bilhão a mais do que para os ICE a gasolina. Então, dividindo-se esta diferença de custo pelo potencial de mitigação de 33.813 GgCO ₂ , estima-se um custo de abatimento de 44,7 US\$/tCO ₂ .	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	Redução significativa das emissões advindas da queima de gasolina e redução da poluição sonora no meio urbano.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	Com o aumento da eficiência energética do veículo, diminui a demanda por etanol e, conseqüentemente, por água para a irrigação das plantações de cana.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia aumenta a eficiência energética dos veículos, reduzindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Espera-se que a cadeia atual de produção de automóveis adapte-se àquela dos carros elétricos e que haja a criação de uma nova cadeia de valor ligada aos carros elétricos, caso sejam montados no país (29). Com a produção do veículo híbrido <i>flex</i> da Toyota, por exemplo, sendo realizada na fábrica de Indaiatuba, São Paulo, muitos investimentos são atraídos, e é esperado que empregos sejam gerados, inclusive no ramo de motores elétricos da indústria automobilística. No que tange ao setor de combustíveis do país, estima-se que os empregos na área de biocombustíveis, como o etanol, mantenham-se com o uso de híbridos <i>flex</i> (<i>plug-in</i> ou não), e que, na área de petróleo, o efeito de redução não seja imediato (29).	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	O primeiro veículo híbrido <i>flex</i> está sendo produzido no Brasil pela Toyota, na fábrica de Indaiatuba, São Paulo, na qual foram investidos cerca de R\$ 1 bilhão (30). Porém, o conjunto híbrido ainda é importado e as empresas só pretendem produzi-los no país com o aumento da demanda e da produção nacional de veículos híbridos (31). Ainda na seara da nacionalização da tecnologia, entre os 694 pedidos de patente referentes a veículos elétricos e híbridos no Brasil, apenas 21 são de residentes no país, sendo: sete oriundos de universidades; um de centro de pesquisas governamental (CPQD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações); seis de empresas; e sete de inventores independentes. No que tange às tecnologias, três são referentes a veículos híbridos, oito a veículos elétricos e dez a baterias (32). Contudo, um ponto extremamente favorável é que, por causa da ampla presença nacional de veículos com motores <i>flex</i> , o país apresenta significativas vantagens na produção e na distribuição de etanol como combustível automotivo (26). Assim, pelo menos no curto prazo e até mesmo visando a uma transição para a eletrificação total do setor, a tecnologia de veículo híbrido <i>flex</i> coloca o país em posição de larga vantagem, com aproveitamento de tecnologia e de recursos nacionais.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Entre seus objetivos, o documento visa fortalecer a competitividade nacional dos biocombustíveis, em especial do etanol (33).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A PNMC enfatiza a necessidade de se fomentar a eficiência energética em veículos e o uso de biocombustíveis (9). O RenovaBio tem como seu principal objetivo promover e assegurar a expansão do uso de biocombustíveis, como o etanol.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento promove a eficiência energética de motores veiculares, a eletromobilidade e o uso de biocombustíveis (10).	
	Arcabouço institucional	5
O uso de biocombustíveis, como o etanol, é amplamente incentivado no Brasil, e o projeto da Toyota conta com o apoio da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica) (26). O Programa Rota 2030 (34) promove a eletromobilidade, a eficiência energética, a inovação tecnológica e o uso de biocombustíveis, em especial, de híbridos <i>flex</i> , concedendo incentivos fiscais como a isenção de Imposto sobre Operações Financeiras (IOF) e de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) sobre veículos elétricos e híbridos. Estes incentivos ajudam a transpassar barreiras de veículos híbridos, como os altos custos de aquisição, os quais, por sua vez, levam a barreiras culturais por parte dos consumidores, que, geralmente, atentam-se apenas para os custos de aquisição de veículos. Além disso, os subsídios e o fortalecimento da cadeia de biocombustíveis como o etanol podem ajudar a romper outra barreira cultural, que é a preferência pela gasolina em função do menor custo e/ou hábito.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ELETRIFICAÇÃO PARCIAL OU TOTAL DE TRENS (TRANSPORTES/FERROVIÁRIO)		
Macrocritério	Indicador	Nota
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A tecnologia de locomotivas elétricas, tanto para transporte de passageiros quanto de carga, já é disponível e amplamente empregada em diversos países (35). Contudo, projetos inovadores incluem a hibridização de locomotivas a <i>diesel</i> já existentes, com o uso de baterias e de células a combustível. Exemplos são o MTU Hybrid PowerPacks, da Rolls-Royce, e o projeto Shift2Rail (36, 37).	
	Potencial de mitigação	1
	As emissões totais calculadas com base no consumo de óleo <i>diesel</i> do modal ferroviário em 2015 (3) são inferiores ao valor de corte correspondente à nota 1.	
	Custo de mitigação	1
	Não foi possível estimar quantitativamente os custos para a tecnologia. Por isso, a discussão ocorre de forma qualitativa. Segundo estudo (38), o custo de capital (Capex) de ferrovias elétricas seria entre 10% e 18% maior do que para ferrovias a <i>diesel</i> , enquanto o custo de operação (Opex) teria uma redução anual de 55%. Porém, os custos de investimento na eletrificação da malha ferroviária brasileira incluem a hibridização dos trens existentes e/ou a troca de toda a estrutura existente por catenárias, seja no transporte de cargas, seja no urbano. Assim, configura-se como um investimento alto, em termos de escala, para um potencial de mitigação muito baixo no contexto brasileiro.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	Locomotivas híbridas podem apresentar reduções da ordem de: 25% do consumo de <i>diesel</i> ; 75% da poluição sonora; 70% das emissões de NOx; e 90% das de material particulado (39).	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A energia gerada para o funcionamento da ferrovia e ao longo de sua extensão poderá melhorar o acesso à energia para as populações locais, especialmente as isoladas (38). Além disso, a tecnologia é mais eficiente, reduzindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	5
	Aumento de emprego e renda por fatores como: geração de desenvolvimento socioeconômico local; qualificação profissional da mão de obra local (operação, engenharia, administração e gestão); desenvolvimento dos fornecedores dos setores da indústria, prestadores de serviço e comércio locais e, com isto, a demanda por mais postos de trabalho (38).	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC destaca a expansão do sistema ferroviário para o transporte de cargas (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento apoia a eletromobilidade e aconselha a mudança do modal rodoviário para o ferroviário para o transporte de cargas (10).	
	Arcabouço institucional	2
A política de transportes é atualmente voltada à logística rodoviária. São necessárias ações de incentivo à modernização e à ampliação do transporte ferroviário como um todo, e, mais especificamente, à sua eletrificação (38).		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SISTEMAS DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA DE TRENS (TRANSPORTES/FERROVIÁRIO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	Há poucos projetos de trens MagLev em operação comercial no mundo, com linhas de curta extensão, em torno dos 30 km, e que estão concentrados na Ásia (40). Contudo, existem diversos protótipos funcionais em escala não comercial e em desenvolvimento. Exemplos incluem o MagLev-Cobra, que está em desenvolvimento no Laboratório de Aplicações de Supercondutores (Lasup) da Coppe/UFRJ, um veículo protótipo de SML que visa revolucionar o transporte urbano; e o Hyperloop, que está começando sua fase de testes para entrar em operação comercial em Abu Dhabi (41). Desta forma, o TRL da tecnologia é considerado entre 4 e 5, recebendo nota 2.	
	Potencial de mitigação	1
	As emissões totais calculadas com base no consumo de óleo <i>diesel</i> do modal ferroviário em 2015 (3) são inferiores ao valor de corte correspondente à nota 1.	
	Custo de mitigação	1
	Não foi possível estimar quantitativamente os custos para a tecnologia. Por isso, a discussão ocorre de forma qualitativa. Os custos do MagLev proposto para interligar as cidades de Baltimore e Washington, nos Estados Unidos, são da ordem de 400 milhões de US\$ por milha, cerca de 234 milhões de US\$ por km (42). Sendo assim, e também pelo fato de a tecnologia possuir um TRL muito baixo, os custos são considerados altos para um potencial de mitigação pequeno no contexto brasileiro.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	Redução das emissões de NOx e de material particulado e da poluição sonora, quando comparado ao uso de trens a <i>diesel</i> ou carros para transporte urbano (43).	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Criação de cadeia valor e geração de empregos em todas as fases dos projetos (pesquisa, construção e operação). No caso do transporte urbano, geração de melhorias na qualidade e disponibilidade do transporte de passageiros, bem como possível redução do tempo de deslocamento para longas distâncias, podendo haver um efeito positivo sobre a geração de renda para os trabalhadores.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
	A maior vantagem competitiva do Brasil está no fato de a tecnologia já estar sendo desenvolvida e testada no país, com o MagLev-Cobra, protótipo do Lasup/Coppe/UFRJ (44). Além disso, a empresa HyperloopTT tem sede no país e inaugurou um centro de inovação em logística na cidade de Contagem, em Minas Gerais, e anunciou, também, a iniciativa Hyperloop Academy no Brasil, um projeto de educação que pretende conectar instituições de ensino e programas de inovação em todo o mundo aos 900 cientistas e parceiros da empresa. Instituições como a Escola de Engenharia de Minas Gerais e a UFMG já manifestaram interesse em fazer parcerias com a academia (45).	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC destaca a expansão do sistema ferroviário para o transporte de cargas (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento atesta que o investimento em modais de transporte deve considerar sistemas de menor emissão de GEE e maior eficiência, com prioridade para propostas de infraestrutura de transporte urbanos de passageiros, metrô e trens urbanos (10).	
	Arcabouço institucional	2
	A política de transportes é atualmente voltada à logística rodoviária. Por ser uma tecnologia com alto custo de investimento e necessidade de pesquisa e desenvolvimento, pode ser prejudicada pela falta de incentivos tributários.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ELETRIFICAÇÃO PARCIAL OU TOTAL COM USO DE ENERGIA RENOVÁVEL EM EMBARCAÇÕES (TRANSPORTES/HIDROVIÁRIO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A propulsão elétrica de barcos já é empregada há mais de 100 anos. O desafio atual diz respeito à tecnologia de baterias (preço, tamanho, autonomia) e à infraestrutura de recarga, que possibilitem a eletrificação em larga escala e o transporte de longa distância. De qualquer forma, já há barcos operando ou em fase de desenvolvimento para aplicações que vão desde o transporte de cargas até balsas de passageiros de curta distância (46, 47).	
	Potencial de mitigação	1
	As emissões totais calculadas com base no consumo de óleo <i>diesel</i> e óleo combustível do modal hidroviário em 2015 (3) são inferiores ao valor de corte correspondente à nota 1.	
	Custo de mitigação	4
	Não foi possível estimar quantitativamente os custos para a tecnologia. Por isso, a discussão ocorre de forma qualitativa. A hibridização ou a eletrificação total de embarcações apresenta alto Capex, como foi o caso do projeto da empresa sueca ForSea Ferries (antiga HH Ferries), que lançou duas balsas totalmente elétricas e custou cerca de 29 milhões de euros, dos quais 11,5 milhões foram subsidiados pela União Europeia (48, 49). Porém, há, também, reduções nos Opex, tanto pela economia de combustível quanto pela menor necessidade de manutenção de motores elétricos, sendo considerada economicamente viável (46, 50). Assim, por ser uma tecnologia com alto TRL, com bom potencial de inserção, principalmente em trajetos de curta distância, e com necessidades estruturais que envolvem apenas a recarga elétrica, entende-se que seus custos são relativamente baixos.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
Considerando embarcações que dependam de geração embarcada por fonte solar ou eólica para a propulsão elétrica, estas tecnologias são consideradas vulneráveis à mudança na disponibilidade destes recursos.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	A eletrificação não produz emissões e a hibridização gera reduções significativas nas emissões de NOx e material particulado por causa da economia de combustível (50). Contudo, devido à maior parte das emissões não ocorrerem no meio urbano, foi dada a nota 4.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	4
Motores elétricos geram menos poluição sonora, a qual, neste caso, é percebida principalmente pela fauna marinha. Assim, a eletrificação pode trazer redução de impacto negativo sobre a biodiversidade.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia aumenta a eficiência energética da atividade, reduzindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	Considerando que o maior potencial de inserção de embarcações elétricas é no transporte de curta distância, seja no de passageiros, seja no recreativo, não haverá grande necessidade de construção civil ou de infraestrutura elétrica e portuária para atender à atividade. Quanto à construção/adaptação das embarcações e dos componentes, considera-se que será realizada pela indústria já existente ou importada.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
O projeto "Cabeças de Série de Embarcações com Propulsão Elétrica", do LabH2 da Coppe/UFRJ, em parceria com a Furnas Centrais Elétricas S/A, visa desenvolver dois protótipos de embarcações elétricas: uma balsa elétrico-híbrida e uma lancha tríptica, para o transporte de veículos e passageiros em reservatórios de usinas hidrelétricas (UHEs) de Furnas e no Rio de Janeiro (51). Há, também, diversas equipes e universidades envolvidas em projetos de protótipos de barcos movidos à energia solar e que participam da competição "Desafio Solar Brasil" (52). Outra vantagem está no fato de que o Brasil possui uma matriz elétrica altamente renovável, contribuindo com a possibilidade de eletrificação com baixas emissões.		

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC cita a utilização de veículos eficientes e expansão do uso de sistemas aquaviários (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento cita a eletromobilidade para o transporte urbano de passageiros, o que pode incluir balsas híbridas/elétricas, e também apoia a geração de energia renovável (10).	
	Arcabouço institucional	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
MELHORIAS NA AERODINÂMICA DE AERONAVES (TRANSPORTES/AÉREO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	1
	Os conceitos são comprovados, mas as tecnologias em si estão sendo desenvolvidas, muitas ainda sem protótipos. Assim, é atribuído o TRL 3 ao conjunto de tecnologias que melhoram a aerodinâmica de aeronaves, sejam alterações de <i>design</i> , seja emprego de materiais avançados.	
	Potencial de mitigação	1
	Foi considerada uma redução no consumo de combustível de 20%, com base na tecnologia de BWB (53, 54). Assim, conforme os valores do consumo de QAV e de gasolina de aviação do setor aéreo em 2015 (3) e os fatores de emissão do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (18), foi calculada uma redução de emissões de 2.213 GgCO ₂ .	
	Custo de mitigação	1
	Não foi possível estimar quantitativamente os custos para a tecnologia. Por isso, a discussão ocorre de forma qualitativa. Dado que o TRL do conjunto de tecnologias é muito baixo, havendo necessidade de vasta pesquisa e desenvolvimento, estima-se que os custos sejam relativamente muito altos para um potencial de mitigação relativamente baixo no contexto brasileiro.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
Dada a diminuição no gasto de combustível de cerca de 20%, as emissões atmosféricas são reduzidas. Contudo, como a poluição não é local, ou seja, não se dá efetivamente no meio urbano, a tecnologia recebeu a nota 4.		
Impacto na disponibilidade de água		3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Impacto na produção de alimentos		3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Impacto na biodiversidade		3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	A tecnologia reduz o uso de combustível, diminuindo a demanda energética.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
A Embraer desenvolveu um novo <i>winglet</i> para a aeronave agrícola Ipanema 203, atingindo melhorias em sua aerodinâmica (55). O Programa VE, da Itaipu Binacional, por meio do projeto do avião elétrico, em parceria com a empresa ACS Aviation, de São José dos Campos (SP), estuda os materiais compostos utilizados nas aeronaves, visando à redução de peso dos veículos elétricos. Contudo, como está sendo considerado um conjunto de tecnologias possíveis e não foram encontradas outras iniciativas de pesquisa brasileira neste âmbito, a tecnologia é considerada neutra no critério de vantagem competitiva.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC cita a utilização de veículos eficientes (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Arcabouço institucional	2
Há diversas barreiras para o uso de aeronaves BWB, por exemplo, para transporte aéreo comercial, entre elas: dificuldades com a logística e movimentação em aeroportos; requerimentos de altura mínima para o transporte de passageiros que conflitam com o <i>design</i> da aeronave; inflexibilidade do <i>design</i> (56). Além disso, há as barreiras culturais com relação à alteração do <i>design</i> de aviões comerciais. O emprego de novos materiais mais leves e de técnicas inovadoras de fabricação de produtos também exige o estabelecimento de padrões e normas de qualidade por parte do setor de aviação (57).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ELETRIFICAÇÃO COM USO DE ENERGIA RENOVÁVEL EM AERONAVES (TRANSPORTES/AÉREO)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	Existem cerca de 100 programas de aeronaves elétricas em desenvolvimento no mundo (58, 59), entre os quais: o Sugar Volt, da Boeing, que conta com um sistema de propulsão híbrida, e cuja aplicação em jatos deve ser lançada entre 2030 e 2050; a aeronave híbrida E-Fan X, da Airbus em parceria com Rolls-Royce e Siemens, cujos primeiros testes de voo devem ser realizados em 2021; o Sora-e, que realizou o primeiro voo feito na América Latina, em 2015, e é um bimotor de dois lugares desenvolvido pela ACS-Aviation, de São José dos Campos, interior de São Paulo, em parceria com a Itaipu Binacional; o projeto entre a Embraer e a WEG, que desenvolverá um protótipo do monomotor agrícola EMB-203 Ipanema com propulsão 100% elétrica, autonomia de voo de aproximadamente 30 minutos e cujos ensaios de laboratório ocorreram em 2019 e os voos de testes ocorrerão em 2021. Para os aviões elétricos solares, em março de 2016, o Solar Impulse realizou um voo de mais de 40.000 quilômetros ao redor do mundo utilizando apenas a energia do Sol (29). Sendo assim, dada a existência de protótipos funcionais que estão em fase de testes em ambiente laboratorial ou operacional simulado, foi atribuído o TRL 6 para a tecnologia, recebendo nota 3.	
	Potencial de mitigação	1
	Segundo o engenheiro André Gasparotti, diretor de Desenvolvimento Tecnológico da Embraer (58), a troca do querosene de aviação pela eletrificação pode vir a gerar um ganho de 40% a 50% em eficiência energética. Assim, assumindo-se uma redução de 50% sobre o consumo energético do setor de aviação em 2015 (3) e considerando o fator de emissão de 0,4 kgCO ₂ /KWh, o potencial de mitigação da eletrificação atingiu 2.558 GgCO ₂ .	
	Custo de mitigação	1
	Não foi possível estimar quantitativamente os custos para a tecnologia. Por isso, a discussão ocorre de forma qualitativa. A eletrificação de aeronaves demanda altos custos de investimento, que são significativamente dependentes dos custos de aquisição e troca/manutenção e da densidade energética das baterias. Contudo, pode trazer economias, por exemplo, por não haver necessidade de um sistema auxiliar para gerar eletricidade para outros usos da aeronave que não a propulsão e pela menor necessidade de manutenção dos motores elétricos em relação aos mecânicos. Contudo, no atual contexto de mercado, instrumentos econômicos que favoreçam o barateamento da geração elétrica renovável e a precificação do carbono mostram-se essenciais para o início do desenvolvimento de aeronaves elétricas (60). Com isso, e por ainda apresentar um TRL relativamente baixo, o custo da tecnologia foi considerado como relativamente caro para um potencial de mitigação relativamente baixo no contexto brasileiro.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
No que diz respeito a aviões solares, com geração elétrica a bordo a partir de energia solar, mudanças climáticas que afetem a disponibilidade do recurso renovável ou mudanças na temperatura de certas regiões que afetem a eficiência da geração são consideradas vulnerabilidades.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Redução nas emissões de NOx durante decolagem e pouso na área do aeroporto (60).	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia aumenta a eficiência energética da atividade, reduzindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
	Entre os projetos de pesquisa desenvolvidos no país estão (58, 61, 62): o Sora-e, que realizou o primeiro voo feito na América Latina, em 2015, e é um bimotor de dois lugares desenvolvido pela ACS-Aviation, de São José dos Campos, interior de São Paulo, em parceria com a Itaipu Binacional; o projeto entre a Embraer e a WEG, que desenvolverá um protótipo do monomotor agrícola EMB-203 Ipanema com propulsão 100% elétrica. A Embraer também está envolvida em um projeto com a Uber para a implantação de pequenos veículos verticais elétricos de decolagem e aterragem (VTOLs) para deslocamentos urbanos mais curtos (63). Outra vantagem está no fato de que o Brasil possui uma matriz elétrica altamente renovável, contribuindo com a possibilidade de eletrificação com baixas emissões. Portanto, seria um dos países do mundo com maior potencial de redução de emissões de CO ₂ por meio do uso de eletricidade em substituição ao combustível em aeronaves (60).	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC cita a utilização de veículos eficientes e uma modesta expansão do transporte aéreo (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	O documento apoia a promoção de medidas de eficiência energética e de modais de baixo carbono no setor de transportes, bem como a geração de energia renovável (10).	
	Arcabouço institucional	2
Necessidade de mecanismos que promovam o barateamento de baterias, da geração renovável e a precificação do carbono para que a tecnologia se torne competitiva (60). Falta de certificação internacional para aeronaves elétricas e híbridas (64).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS <i>PLUG-IN</i> (TRANSPORTES/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A tecnologia já tem escala comercial. As vendas de híbridos <i>plug-in</i> representaram um terço das vendas de veículos elétricos em 2017 e ultrapassaram as vendas de veículos elétricos a bateria (VEBs) em países como Japão, Suécia e Reino Unido (65). Os principais desafios tecnológicos dizem respeito às baterias, pela necessidade de barateamento e pelo aumento de autonomia (66).	
	Potencial de mitigação	5
	Os híbridos <i>plug-in</i> , frente à possibilidade de utilizarem o MCI e de elevarem a autonomia para mais de 750 km, possuem baterias menores, com autonomia inferior a 100 km (66). Sendo assim, os consumos de combustível e de eletricidade dependem da tipologia de uso dos veículos, mas, geralmente, podem ser consideradas economias de combustível maiores que 50% (67, 68). Assim, as estimativas consideraram que: um híbrido <i>plug-in</i> roda 50% do tempo com o motor elétrico e 50% com o MCI eficiente; o consumo específico do MCI é de 18 km/l e do motor elétrico de 19,3 kWh/100 km (69); o consumo de gasolina automotiva em 2015 (3); e o fator de emissão da gasolina de 2,239 kgCO ₂ /l e da geração elétrica de 0,4 kgCO ₂ /kWh. Com isso, o potencial de mitigação foi calculado em 37.182 GgCO ₂ . Se, ao invés de gasolina, for utilizado como combustível o etanol em híbridos <i>flex plug-in</i> , este potencial é ainda maior.	
	Custo de mitigação	1
	Conforme as estimativas de (69) para os Estados Unidos, o custo de aquisição dos híbridos <i>plug-in</i> é bastante superior ao de veículos convencionais, porém inferior ao de VEBs. Grande parte deste custo é devido ao alto custo das baterias. Assim, com a esperada queda nos preços das baterias, os custos de veículos elétricos cairão, porém os dos híbridos <i>plug-in</i> continuarão superiores aos dos veículos convencionais, enquanto os dos VEBs poderão ser até menores. Além do custo das baterias, há outro fator que interfere muito na diferença de custos, que é a economia de combustível. Considerando os custos totais de cinco anos de operação de veículos, a diferença entre os híbridos <i>plug-in</i> e os convencionais diminui, porém os híbridos <i>plug-in</i> não se tornam mais baratos que os convencionais no horizonte até 2030, enquanto os VEBs tornam-se em torno de 2025. Assim, comparativamente, os híbridos <i>plug-in</i> podem ser favorecidos no curto prazo por apresentarem preços mais próximos de veículos convencionais e caso haja políticas de incentivo à compra. Segundo o relatório de (5), o TCO de veículos a gasolina é de 0,355 US\$/km. Já para veículos híbridos <i>plug-in</i> , seria, em média, de 0,375 US\$/km. Assume-se que, em 2015, os veículos a gasolina rodaram cerca de 302 bilhões de km – 30,2 bilhões de litros de gasolina consumidos (3) a um consumo específico de 10 km/l. Sendo assim, o custo total anual de veículos híbridos <i>plug-in</i> (para toda a frota) seria de 113,3 bilhões de US\$, 6 bilhões a mais do que para os ICE a gasolina. Então, dividindo-se esta diferença de custo pelo potencial de mitigação de 37.182 GgCO ₂ , estima-se um custo de abatimento de 162,5 US\$/tCO ₂ .	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	Redução significativa das emissões advindas da queima de gasolina e diminuição da poluição sonora no meio urbano.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	Com o aumento da eficiência energética do veículo, diminui a demanda por etanol e, conseqüentemente, por água para a irrigação das plantações de cana.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia aumenta a eficiência energética dos veículos, reduzindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	5
	De acordo com estudos sobre eletrificação na Europa (70,71), pode haver redução de empregos no setor de manufatura de carros porque o processo de produção de veículos elétricos é mais simples do que o de veículos com MCI. Para veículos híbridos <i>plug-in</i> , no entanto, a atividade é mais intensiva em empregos do que para veículos totalmente elétricos, pois combina ambas as cadeias de produção, trazendo um efeito positivo sobre a geração de empregos e fazendo com que os empregos líquidos do setor de manufatura dependam da proporção de híbridos <i>plug-in</i> sendo produzidos (71, 72). Para veículos elétricos em geral, outro efeito diz respeito à criação de empregos em outras áreas, como: instalação, operação e manutenção dos postos de recarga, produção de baterias, projetos de geração e distribuição elétrica e outros postos de trabalho indiretos (71). Assim, estima-se que os postos de trabalho devem mudar e se adaptar, obtendo um saldo final positivo, desde que os veículos sejam produzidos no próprio país. Caso contrário, as perdas para a Europa, por exemplo, seriam significativas (70). Para o Brasil, espera-se que a cadeia de produção de automóveis convencionais adapte-se àquela dos carros elétricos e que haja a criação de uma nova cadeia de valor ligada aos carros elétricos, caso sejam montados no país. No que tange ao setor nacional de combustíveis, estima-se que os empregos na área de biocombustíveis, como o etanol, mantenham-se com o uso de híbridos <i>flex (plug-in ou não)</i> , e que, na área de petróleo, o efeito de redução não seja imediato (29).	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
A tecnologia ainda não foi nacionalizada e as empresas automotivas só pretendem produzir sistemas híbridos no país diante do aumento da demanda e da produção nacional de veículos híbridos (32). Entre os 694 pedidos de patente referentes a veículos elétricos e híbridos no Brasil, apenas 21 são de residentes no país, sendo: sete oriundos de universidades; um de centro de pesquisas governamental (CPQD); seis de empresas; e sete de inventores independentes. No que tange às tecnologias, três são referentes a veículos híbridos, oito a veículos elétricos e dez a baterias (32). Ademais, ainda não há infraestrutura de recarga elétrica pública que atenda a uma vasta demanda de veículos elétricos. Contudo, há diversos projetos de eletromobilidade no país, como: os Programas VE e Mob-i, da Itaipu Binacional (6, 7, 61); o Projeto Cidades, da Renault, que fornece veículos elétricos para projetos em diferentes cidades (73): o Mob-i, em Foz do Iguaçu; o Curitiba Ecoelétrico; o Brasília Ecomóvel; o Programa de Mobilidade Elétrica da CPFL Energia, em Campinas; um projeto para transporte com emissão zero no Rio de Janeiro; e o Projeto Redes Elétricas Inteligentes, da Companhia Energética de Pernambuco (Celpe), em Fernando de Noronha. Quanto à infraestrutura de recarga, empresas já investiram na instalação de eletropostos pelo Brasil (74), como a CPFL Energia, em São Paulo, a Companhia Paranaense de Energia (Copel), no Paraná, e a EDP em parceria com a BMW, na Rodovia Presidente Dutra, que liga São Paulo ao Rio de Janeiro. Estes projetos, apesar de a maioria englobar carros puramente elétricos, podem alavancar a tecnologia nacional, incentivar a demanda e criar infraestrutura mínima para o desenvolvimento do híbrido <i>plug-in</i> , que é visto por muitos como o primeiro passo para a eletrificação do setor (74). Outra vantagem está no fato de que o Brasil possui uma matriz elétrica altamente renovável, contribuindo com a possibilidade de eletrificação com baixas emissões.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A PNMC enfatiza a necessidade de se fomentar a eficiência energética em veículos e o uso de biocombustíveis (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento promove a eficiência energética de motores veiculares, a eletromobilidade e o uso de biocombustíveis (10).	
	Arcabouço institucional	4
O mercado brasileiro de veículos elétricos vem apenas seguindo a distância o que ocorre no mercado internacional. As diferenças de incentivo à eletromobilidade ocorrem justamente porque a principal motivação de outros países é ter a eletrificação como a melhor solução para a descarbonização da matriz energética, enquanto no Brasil existem outras opções, como o uso de biocombustíveis (74). Porém, o mercado vem crescendo, os preços vêm caindo e o governo vem dando boas sinalizações. O Programa Rota 2030 (34) promove o uso de biocombustíveis, a eletromobilidade e, em especial, o uso de híbridos <i>flex</i> , a eficiência energética e a inovação tecnológica. O programa concede incentivos fiscais como a isenção de IOF e de IPI sobre veículos elétricos e híbridos.		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
VEÍCULOS LEVES ELÉTRICOS A BATERIA (TRANSPORTES/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A tecnologia já possui escala comercial. Os principais desafios tecnológicos dizem respeito às baterias, pela necessidade de barateamento e aumento de autonomia (66).	
	Potencial de mitigação	5
	Com base no consumo anual de gasolina em 2015, de 30,2 bilhões de litros (3), e considerando o consumo específico de 10 km/l em veículos leves movidos a gasolina, estima-se que, naquele ano, foram percorridos 302 bilhões de km. Para um fator de emissão da gasolina de 2,239 kgCO ₂ /l (18), calcula-se que as emissões foram de 67.626,5 GgCO ₂ para a frota de veículos MCI rodando a gasolina. Assim, para se alcançar o mesmo serviço útil, em termos de quilometragem, e considerando um consumo específico de um VEB como 17,4kWh/100km e o fator de emissão da geração elétrica de 0,4 kgCO ₂ /kWh, o potencial de mitigação de VEBs foi calculado em 46.578 GgCO ₂ .	
	Custo de mitigação	1
	Para os Estados Unidos, o custo de aquisição dos VEBs é bastante superior ao de veículos convencionais e um pouco superior ao de híbridos <i>plug-in</i> . Grande parte deste custo é devido ao alto valor das baterias, que cresce com o aumento da autonomia, mas, também, pelos custos indiretos, que incluem gastos como os com pesquisa e desenvolvimento. Assim, com a esperada queda nos preços das baterias e menores gastos com pesquisa e desenvolvimento conforme a produção aumenta, o preço dos VEBs cairá muito e poderá ser até menor do que o de veículos MCI até 2030. Além do preço das baterias, há outro fator que interfere muito na diferença de custos, que é a economia de combustível. Considerando os custos totais de cinco anos de operação de veículos, o alcance de competitividade dos VEBs é ainda mais rápido, tornando-se mais baratos que os veículos MCI a partir de 2025. Sendo assim, apesar do alto custo de aquisição atual, a perspectiva é de um rápido barateamento dos VEBs na próxima década. Segundo o relatório de (5), o TCO de veículos a gasolina é de 0,355 US\$/km. Já para VEBs, seria, em média, de 0,4 US\$/km. Assume-se que, em 2015, os veículos a gasolina rodaram cerca de 302 bilhões de km – 30,2 bilhões de litros de gasolina consumidos (3) a um consumo específico de 10 km/l. Sendo assim, o custo total anual de VEBs (para toda a frota) seria de 120,8 bilhões de US\$ 13,6 bilhões a mais do que para os ICE a gasolina. Então, dividindo-se esta diferença de custo pelo potencial de mitigação de 46.578 GgCO ₂ , estima-se um custo de abatimento de 291,8 US\$/tCO ₂ .	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	VEBs não emitem gases poluentes durante sua operação e geram menos ruído do que veículos MCI.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia aumenta a eficiência energética dos veículos, reduzindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	De acordo com estudos sobre eletrificação na Europa (70, 71), pode haver redução de empregos no setor de manufatura de carros porque o processo de produção de veículos elétricos é mais simples do que o de veículos MCI. Contudo, o total de postos de trabalho tende a aumentar, diante da criação de empregos em outras áreas, como: instalação, operação e manutenção dos postos de recarga; produção de baterias; projetos de geração e distribuição elétrica; e outros postos de trabalho indiretos (71). Assim, estima-se que os postos de trabalho devem mudar e se adaptar, obtendo um saldo final positivo, desde que os veículos sejam produzidos no próprio país. Caso contrário, as perdas para a Europa, por exemplo, seriam significativas (70). Para o Brasil, espera-se que a cadeia de produção de automóveis convencionais adapte-se àquela dos carros elétricos e que haja a criação de uma nova cadeia de valor ligada aos carros elétricos, caso sejam montados no país. No que tange ao setor de combustíveis do país, estima-se que os empregos na área de biocombustíveis, como o etanol, mantenham-se com o uso de híbridos <i>flex (plug-in ou não)</i> , e que, na área de petróleo, o efeito de redução não seja imediato (29).	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
	É provável que a produção dos veículos elétricos não seja feita no Brasil, em parte pelos subsídios dados aos combustíveis fósseis (75). Entre os 694 pedidos de patente referentes a veículos elétricos e híbridos no Brasil, apenas 21 são de residentes no país, sendo: sete oriundos de universidades; um de centro de pesquisas governamental (CPQD); seis de empresas; e sete de inventores independentes. No que tange às tecnologias, três são referentes a veículos híbridos, oito a veículos elétricos e dez a baterias (32). Ademais, ainda não há infraestrutura de recarga elétrica que atenda a uma vasta frota de veículos elétricos. Contudo, há diversos projetos de eletromobilidade no país, como: os Programas VE e Mob-i, da Itaipu Binacional (6, 7, 61); o Projeto Cidades, da Renault, que fornece veículos elétricos para projetos em diferentes cidades (73); o Mob-i, em Foz do Iguaçu; o Curitiba Ecoelétrico; o Brasília Ecomóvel; o Programa de Mobilidade Elétrica da CPFL Energia, em Campinas; um projeto para transporte com emissão zero no Rio de Janeiro; e o Projeto Redes Elétricas Inteligentes da Celpe, em Fernando de Noronha. Quanto à infraestrutura de recarga, empresas já investiram na instalação de eletropostos pelo Brasil (74), como a CPFL Energia, em São Paulo, a Copel, no Paraná, e a EDP em parceria com a BMW, na Rodovia Presidente Dutra, que liga São Paulo ao Rio de Janeiro. Outra vantagem está no fato de que o Brasil possui uma matriz elétrica altamente renovável, contribuindo com a possibilidade de eletrificação com baixas emissões.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC enfatiza a necessidade de se fomentar a eficiência energética em veículos (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento promove a eficiência energética de motores veiculares e a eletromobilidade (10).	
	Arcabouço institucional	4
O mercado brasileiro de veículos elétricos vem apenas seguindo a distância o que ocorre no mercado internacional. As diferenças de incentivo à eletromobilidade ocorrem justamente porque a principal motivação de outros países é ter a eletrificação como a melhor solução para a descarbonização da matriz energética, enquanto no Brasil existem outras opções, como o uso de biocombustíveis (74). Porém, o mercado vem crescendo, os preços vêm caindo e o governo vem dando boas sinalizações. O Programa Rota 2030 (34) promove o uso de biocombustíveis, a eletromobilidade, a eficiência energética e a inovação tecnológica. O programa concede incentivos fiscais como a isenção de IOF e de IPI sobre veículos elétricos e híbridos.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA (TRANSPORTES/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A frota de ônibus elétricos vem crescendo rapidamente, com cerca de 370 mil veículos (a bateria e híbridos <i>plug-in</i>) apenas na China, onde houve fortes subsídios (65). Já há alguns fabricantes no mercado e crescente interesse das grandes fabricantes em desenvolver a tecnologia. Os principais desafios dizem respeito às baterias e aos métodos e à infraestrutura de recarga (65, 76, 77).	
	Potencial de mitigação	1
	O consumo específico de eletricidade de ônibus elétricos a bateria (OEBs) depende de fatores como tamanho do veículo, número de passageiros, distância da rota, época do ano, entre outros (78, 79). Porém, com base em diferentes estudos (78, 79, 80, 81), estipulou-se o valor médio de 1,6 kWh/km. As demais premissas foram: o consumo de <i>diesel</i> rodoviário em 2015, de cerca de 44,8 bilhões de litros (3); a parcela de ônibus na frota de veículos pesados a <i>diesel</i> de 19% e o consumo específico de <i>diesel</i> para ônibus de 3 km/l (17); o fator de emissão do <i>diesel</i> de 2,632 kgCO ₂ /L (18) e da geração elétrica de 0,4 kg CO ₂ /kWh. Com isso, calculou-se que os OEBs reduziram as emissões de 22.373 GgCO ₂ para 16.320 GgCO ₂ , sendo responsáveis pela mitigação de 6.053 GgCO ₂ .	
	Custo de mitigação	3
	O estudo de (76) conclui que os OEBs são um pouco mais caros que os ônibus a <i>diesel</i> , custando cerca de 1 US\$/km na Finlândia e 1,4 US\$/km na Califórnia, por exemplo, e com baixíssimo consumo de energia; e que os ônibus elétricos com recarga de oportunidade (<i>opportunity recharging</i>) são mais custo-efetivos que os com recarga noturna (<i>overnight recharging</i>). O trabalho prevê que os ônibus elétricos tornem-se mais baratos que os a <i>diesel</i> em torno de 2023. Contudo, para os OEBs, ainda há desafios referentes às baterias e à infraestrutura de recarga: a solução que está sendo buscada em projetos na Europa é a de recarga rápida de oportunidade, que permite o uso de baterias menores que a recarga noturna, mas que é complexa e exige esforços conjuntos entre governo e empresas de ônibus. Para o Brasil, mais especificamente para o estado de São Paulo, o estudo de (82) previu os custos para a eletrificação da frota de ônibus da cidade de São Paulo, obtendo o resultado de que os OEBs seriam mais baratos do que os ônibus a <i>diesel</i> para um ciclo de vida de dez anos, especialmente graças aos custos de operação, que teriam redução de mais de 50%. Assim, quanto maior o tempo de vida útil analisado e a quilometragem percorrida anualmente, mais os OEBs tornam-se competitivos, em termos de TCO. A conclusão é que um ônibus a <i>diesel</i> teria um TCO de 2,64 R\$/km, um BEB (carregamento na garagem) de 2,39 R\$/km (-9,5%), e um BEB (carregamento na rota) de 2,69 R\$/km (+1,9%). Segundo o estudo de (76), o TCO de ônibus ICE a <i>diesel</i> é de, aproximadamente, 0,825 US\$/km. Já para OEBs, seria, em média, de 1 US\$/km. Assume-se que, em 2015, os ônibus ICE a <i>diesel</i> rodaram cerca de 25,5 bilhões de km – 8,5 bilhões de litros de <i>diesel</i> consumidos (3) a um consumo específico de 3 km/l. Sendo assim, o custo total anual de OEBs (para toda a frota) seria de 25,5 bilhões de US\$ 4,4 bilhões a mais do que para os ônibus ICE a <i>diesel</i> . Então, dividindo-se esta diferença de custo pelo potencial de mitigação de 6.053 GgCO ₂ , estima-se um custo de abatimento de 737,3 US\$/tCO ₂ . Já de acordo com os TCOs propostos por (82), o custo total anual de OEBs (para toda a frota) seria de 15,9 bilhões de US\$ 0,89 bilhão a menos do que para os ônibus ICE a <i>diesel</i> . Assim, o custo de abatimento seria negativo. Estas diferenças refletem a sensibilidade dos custos às premissas de preço de baterias, de opção de recarga (noturna ou de oportunidade) e de quilometragem anual. O relatório EV Outlook, de 2018 (65), coloca que a diferença entre o TCO de ônibus a <i>diesel</i> e os de OEBs só seria zerada ou negativa em casos de intensa atividade anual e baixos preços de baterias. Dadas as incertezas apresentadas, foi dada a nota 3 para esta tecnologia.	
Vulnerabilidade a mudanças do clima	3	
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	VEBs não emitem gases poluentes durante sua operação e geram menos ruído do que veículos MCI (82).	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia aumenta a eficiência energética dos veículos, reduzindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	De acordo com estudos sobre eletrificação na Europa (70, 71), pode haver redução de empregos no setor de manufatura de carros porque o processo de produção de veículos elétricos é mais simples do que o de veículos MCI. Contudo, o total de postos de trabalho tende a aumentar, diante da criação de empregos em outras áreas, como: instalação, operação e manutenção dos postos de recarga; produção de baterias; projetos de geração e distribuição elétrica; e outros postos de trabalho indiretos (71). Assim, estima-se que os postos de trabalho devem mudar e se adaptar, obtendo um saldo final positivo, desde que os veículos sejam produzidos no próprio país. Caso contrário, as perdas para a Europa, por exemplo, seriam significativas (70). Para o Brasil, assim como para os veículos leves, espera-se que a cadeia de produção de ônibus convencionais, incluindo de peças e componentes, adapte-se àquela dos ônibus elétricos e híbridos (82).	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
É provável que a produção dos veículos elétricos não seja feita no Brasil, em parte pelos subsídios dados aos combustíveis fósseis (75). Sobre a nacionalização da capacidade de toda a cadeia de produção, incluindo a produção de peças e componentes, como baterias, ela é altamente dependente de projeções de mercado, pois necessita de investimentos. Porém, segundo (82), parece não haver, atualmente, grandes gargalos para a produção nacional do ônibus elétrico. O Grupo Moura, a Eletra e a XALT Energy firmaram parceria para produção do primeiro ônibus elétrico 100% fabricado no Brasil, que apresenta autonomia de, aproximadamente, 200 km (83). A montadora chinesa BYD, maior empresa do segmento em automóveis elétricos e híbridos <i>plug-in</i> do mundo, possui uma fábrica no interior de São Paulo e já possui alguns veículos em operação no Brasil (84). Além da BYD, a capacidade nacional para a fabricação de ônibus elétricos e híbridos divide-se entre a Eletra (São Bernardo do Campo, SP) e a Volvo (Curitiba, PR). Outra vantagem está no fato de que o Brasil possui uma matriz elétrica altamente renovável, contribuindo com a possibilidade de eletrificação com baixas emissões.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC enfatiza a necessidade de se fomentar a eficiência energética em veículos (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento promove a eficiência energética de motores veiculares e a eletromobilidade (10).	
	Arcabouço institucional	4
	O mercado brasileiro de veículos elétricos vem apenas seguindo a distância o que ocorre no mercado internacional. As diferenças de incentivo à eletromobilidade ocorrem justamente porque a principal motivação de outros países é ter a eletrificação como a melhor solução para a descarbonização da matriz energética, enquanto no Brasil existem outras opções, como o uso de biocombustíveis (74). Embora temas relacionados à eletromobilidade tenham sido levantados e discutidos no país, ainda não houve o amplo desenvolvimento de ações concretas nem de um direcionamento claro por parte das instituições (82). Porém, o mercado vem crescendo, os preços vêm caindo e o governo vem dando algumas sinalizações positivas. Está em consulta pública a inclusão de limites de emissão veicular de CO ₂ no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), o que poderia ser um importante passo na direção da eletrificação (82). No que tange às políticas industriais, o Programa Rota 2030 (34) promove o uso de biocombustíveis, a eletromobilidade e, em especial, o uso de híbridos <i>flex</i> , a eficiência energética e a inovação tecnológica. O programa concede incentivos fiscais como a isenção de IOF e de IPI sobre veículos elétricos e híbridos. Contudo, não há diretrizes específicas a respeito da eletrificação de veículos pesados. Quanto aos incentivos ao consumidor, as iniciativas ainda são simbólicas e isoladas e referem-se a isenções de Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) e IPI. Para ônibus elétricos ou híbridos ou a etanol fabricados no Brasil, há condições de financiamento mais convenientes por meio do BNDES Fundo Clima (82). Quanto aos incentivos para a infraestrutura de recarga, há diversos projetos-piloto em curso, e a Aneel já aprovou a regulamentação sobre a recarga de veículos elétricos por interessados na prestação desse serviço (85).	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
VEÍCULOS ELÉTRICOS A PILHA A COMBUSTÍVEL A HIDROGÊNIO (TRANSPORTES/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	A frota mundial de veículos elétricos a pilha a combustível (VEPCs) a hidrogênio atingiu cerca de 13.000 veículos no final de 2018 (86). Sendo assim, considera-se a tecnologia já provada, porém não em larga escala de implementação. Além disso, em todo o mundo existem apenas 376 estações de recarga de hidrogênio em operação, o que limita ainda mais a penetração e a disseminação da tecnologia (86).	
	Potencial de mitigação	3
	Apesar de não haver emissões provenientes da conversão do hidrogênio em eletricidade em células a combustível, elas podem ser significativas nas fases de produção e distribuição do hidrogênio. Assim, o ideal é aliar a sua produção à eletricidade de fontes renováveis ou a projetos de captura de carbono (20, 87). Com base no consumo anual de gasolina em 2015, de 30,2 bilhões de litros (3), e considerando o consumo específico de 10 km/l em veículos leves movidos a gasolina, estima-se que, naquele ano, foram percorridos 302 bilhões de km. Para um fator de emissão da gasolina de 2,239 kgCO ₂ /l (18), calcula-se que as emissões foram de 67.626,5 GgCO ₂ para a frota de veículos MCI rodando a gasolina. Para o cálculo das emissões evitadas, admitiu-se: hidrogênio produzido a partir de eletrólise, com uma eficiência de 75% (20); um consumo específico de 0,01 kgH ₂ /km (88); um poder calorífico de 120 MJ/kgH ₂ ; fator de emissão da geração elétrica de 0,4 kgCO ₂ /kWh. Desta forma, o potencial de mitigação de VEPCH ₂ foi estimado em 13.926,2 GgCO ₂ .	
	Custo de mitigação	1
	Os VEPCs são os mais caros entre os veículos elétricos. Comparativamente, as pilhas a combustível são mais caras que as baterias, o hidrogênio é mais caro que a eletricidade ou o etanol e os custos com a infraestrutura de abastecimento também são maiores (20). Segundo o relatório de (5), o TCO de veículos a gasolina é de 0,355 US\$/km. Já para VEPCH ₂ , seria, em média, de 0,52 US\$/km. Assume-se que, em 2015, os veículos a gasolina rodaram cerca de 302 bilhões de km – 30,2 bilhões de litros de gasolina consumidos (3) a um consumo específico de 10 km/l. Sendo assim, o custo total anual de VEPCH ₂ (para toda a frota) seria de 157 bilhões de US\$, 49,8 bilhões a mais do que para os ICE a gasolina. Então, dividindo-se esta diferença de custo pelo potencial de mitigação de 13.926,2 GgCO ₂ , estima-se um custo de abatimento de 3.578,6 US\$/tCO ₂ .	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	Não há emissão de gases prejudiciais à saúde (87) e há redução de poluição sonora.	
	Impacto na disponibilidade de água	2
	A demanda de água para a produção do hidrogênio pode chegar a 7 l/kgH ₂ para a reforma de metano e a 9 l/kgH ₂ para a eletrólise (20).	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia aumenta a eficiência energética dos veículos, reduzindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Para veículos elétricos em geral, o total de postos de trabalho tende a aumentar diante da criação de empregos em outras áreas, relacionadas à produção do veículo e de seus componentes, à infraestrutura de recarga e ao gerenciamento de sistemas e dados. Assim, estima-se que os postos de trabalho devem mudar e se adaptar, obtendo um saldo final positivo, desde que os veículos sejam produzidos no próprio país (29, 71). Quanto ao hidrogênio, pode haver um potencial de produção do gás em forma de <i>hubs</i> na costa do país, pela sua relação com outras plantas e atividades, como refinarias, produção de aço e plantas de craqueamento químico. Além disso, investimentos na cadeia do hidrogênio podem gerar empregos especializados nas áreas de tecnologia e indústria (20).	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
Uma vantagem nacional é a matriz elétrica baseada em fontes renováveis, que pode levar à produção limpa e sustentável de hidrogênio (89). Em termos de centros de pesquisa, existe, no Rio de Janeiro, o Laboratório de Hidrogênio da Coppe/UFRJ, que realiza estudos como testes nos ônibus híbridos <i>plug-in</i> movidos a células a hidrogênio e a baterias que circulam pelo <i>campus</i> (90). Há, também, o Laboratório de Materiais e Pilhas a Combustível (LaMPaC) da UFMG, que, em parceria com a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), realiza pesquisa na área de pilhas a combustível de óxido sólido (91). Não foram encontradas outras iniciativas que apontem vantagens competitivas do Brasil.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A PNMC enfatiza a necessidade de se fomentar a eficiência energética em veículos (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento promove a eficiência energética de motores veiculares e a eletromobilidade (10).	
	Arcabouço institucional	1
O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTIC) incluiu o hidrogênio no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis, e, no que tange à eletromobilidade, uma das metas do plano é “Incentivar projetos demonstrativos de uso de energias e combustíveis renováveis para produção de hidrogênio para uso veicular e para a produção de gás de síntese” (92). Houve, também, em 2016, a iniciativa da Climate Technology Centre and Network (CTCN) de fomentar e internacionalizar a pesquisa brasileira em energia do hidrogênio, por meio do desenvolvimento, entre outros, de uma rede colaborativa internacional e de um plano de negócios, que inclui o setor de transportes (93). Em 2018, o Rio de Janeiro sediou a 22ª Conferência Global de Energia do Hidrogênio (89). Incentivos industriais podem ajudar no desenvolvimento de uma cadeia produtiva de componentes de VEPCs no Brasil, aumentando o grau de nacionalização e diminuindo seus custos. Porém, apesar de haver ações no país em prol do desenvolvimento de uma economia do hidrogênio, existem diversos desafios que envolvem sua produção, sua distribuição e seu armazenamento, sendo sua principal limitação a baixa densidade energética, que demanda processos caros de compressão ou liquefação. Além disso, no uso e na distribuição, há riscos de vazamentos e de explosão. Combinada a isto, está a falta de regulamentação e normas para os usos energéticos do hidrogênio, além de gargalos como a falta de investimentos em projetos de demonstração, a falta de nacionalização da cadeia produtiva de equipamentos e componentes, os altos custos, entre outros (94, 95).		

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
VEÍCULOS ELÉTRICOS A PILHA A COMBUSTÍVEL A ETANOL (TRANSPORTES/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	O protótipo do primeiro veículo elétrico a pilha a combustível a etanol, desenvolvido pela Nissan, em 2016, está em fase de análise de viabilidade econômica, mas pode vir a ser produzido a partir de 2021 em mercados com facilidade de produzir etanol, como o Brasil (96, 97). O primeiro período de testes de abastecimento e utilização da pilha SOFC foi realizado até 2017 pela equipe de pesquisa e desenvolvimento da fabricante. Agora, os testes avançam para a segunda fase, com a utilização do etanol. Nesta fase, os pesquisadores da Unicamp, que assinaram convênio com a Nissan para desenvolvimento da tecnologia, farão análises, pesquisas e desenvolvimento de produtos para demonstrar a viabilidade do etanol de segunda geração da cana-de-açúcar na mobilidade elétrica (98, 99). Em termos tecnológicos, tanto a reforma de etanol quanto o WGS para aumento da produção de hidrogênio são tecnologicamente dominados. Os desafios aqui se referem à pilha a combustível óxido sólido (PaCOS), que possui nível de prontidão tecnológica de prova de conceitos das funções críticas de forma experimental (TRL 3) (100).	
	Potencial de mitigação	5
	A reforma do etanol produz uma pequena quantidade de CO ₂ , que é emitida para a atmosfera. Porém, além da quantidade ser baixa, o crescimento da cana, por exemplo, para produzir o etanol, captura e armazena carbono da atmosfera, fazendo com que o ciclo do etanol seja considerado neutro em emissões (97). Assim, o potencial de mitigação foi considerado como 67.626,5 GgCO ₂ , que é o valor das emissões calculadas para a frota de veículos ICE a gasolina em 2015.	
	Custo de mitigação	1
	Assim como os VEBs, é provável que, quando lançado, o veículo tenha um alto custo de aquisição. Contudo, seu custo de operação é baixo quando comparado ao de VEBs, de cerca de um terço do custo por quilômetro de um carro a gasolina. Outro ponto positivo é que não há necessidade de investimento em infraestrutura de abastecimento ou de produção de etanol para o Brasil. Porém, devido ao seu baixo TRL, o atingimento do nível comercial demandará muitos investimentos em desenvolvimento da tecnologia e da cadeia produtiva dos componentes, o que ainda irá ditar a viabilidade econômica do projeto (96). Segundo o relatório de (5), o TCO de veículos a gasolina é de 0,355 US\$/km. Já para VEPCs, seria, em média, de 0,52 US\$/km. Por não haver estimativas para VEPCs a etanol, foi considerado o mesmo valor. Assume-se que, em 2015, os veículos a gasolina rodaram cerca de 302 bilhões de km – 30,2 bilhões de litros de gasolina consumidos (3) a um consumo específico de 10 km/l. Sendo assim, o custo total anual de VEPCs a etanol (para toda a frota) seria de 157 bilhões de US\$ 49,8 bilhões a mais do que para os ICE a gasolina. Então, dividindo-se esta diferença de custo pelo potencial de mitigação de 67.626,5 GgCO ₂ , estima-se um custo de abatimento de 737 US\$/tCO ₂ .	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	Não há emissão de gases prejudiciais à saúde e há redução de poluição sonora (97).	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	Com o aumento da eficiência energética do veículo, diminui a demanda por etanol e, conseqüentemente, por água para a irrigação das plantações de cana.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia aumenta a eficiência energética dos veículos, reduzindo a demanda por energia.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Para o Brasil, espera-se que a cadeia de produção de automóveis convencionais adapte-se àquela dos carros elétricos e que haja a criação de uma nova cadeia de valor ligada aos carros elétricos, caso sejam montados no país. No que tange ao setor de combustíveis do país, estima-se que os empregos na área de biocombustíveis, como o etanol, mantenham-se com o uso de células a combustível a etanol, e que, na área de petróleo, o efeito de redução não seja imediato (29). Além disso, caso o desenvolvimento da tecnologia seja feito no país, como vem ocorrendo com a parceria entre Nissan e Unicamp, haverá atração de investimentos para centros de pesquisa e geração de empregos e renda. Contudo, caso os veículos sejam fabricados fora do país, pode haver redução de postos de trabalho no setor automobilístico nacional. Assim, é importante que haja incentivos à produção e à montagem nacional dos componentes e dos veículos.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
Primeiramente, o Brasil é um dos líderes mundiais em produção e consumo de etanol, já possuindo a infraestrutura necessária para o abastecimento dos veículos. Por isso, a Nissan escolheu o país para iniciar o desenvolvimento da tecnologia e testar seu protótipo, mas não se sabe ainda se a fabricação dos componentes será nacional ou importada. De qualquer forma, o mercado brasileiro de etanol impulsionará o desenvolvimento e a aplicação da tecnologia, e vice-versa (97). O Laboratório de Genômica e BioEnergia da Unicamp firmou convênio com a empresa para a realização de análises e pesquisas e o desenvolvimento de produtos e processos relacionados a tecnologias veiculares e biocombustíveis, além de avaliações das tendências do setor sucroenergético (99).		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Entre seus objetivos, o documento visa fortalecer a competitividade nacional dos biocombustíveis, em especial do etanol (33).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A PNMC enfatiza a necessidade de se fomentar a eficiência energética em veículos e o uso de biocombustíveis (9). O RenovaBio tem como seu principal objetivo promover e assegurar a expansão do uso de biocombustíveis, como o etanol.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	O documento promove a eficiência energética de motores veiculares, a eletromobilidade e o uso de biocombustíveis (10).	
	Arcabouço institucional	5
O Brasil aposta fortemente nos biocombustíveis como solução para a descarbonização do setor de transportes, o que inclusive acaba retardando o avanço de políticas de incentivo para veículos elétricos (74). Assim, a opção de combinar as soluções se beneficia do incentivo aos biocombustíveis, ao mesmo tempo em que ajuda a desenvolver os modelos de eletrificação. No que diz respeito às sinalizações do governo em termos de políticas, há discussão sobre a inclusão de limites de emissão veicular de CO ₂ no Proconve, o que poderia ser um importante passo na direção da eletrificação (82). No que tange às políticas industriais, o Programa Rota 2030 (34) promove o uso de biocombustíveis, a eletromobilidade, a eficiência energética e a inovação tecnológica. O programa concede incentivos fiscais como a isenção de IOF e de IPI sobre veículos elétricos e híbridos. Incentivos industriais podem ajudar no desenvolvimento de uma cadeia produtiva de componentes de VEPCs no Brasil, aumentando o grau de nacionalização e diminuindo seus custos.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DO BIOGÁS COM MICROTURBINAS (RESÍDUOS/EFLUENTES, RSU E AGRÍCOLA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	Esta tecnologia já foi testada e qualificada em condições operacionais em diversos países, mas, no Brasil, as iniciativas ainda são modestas e não direcionadas à fabricação de equipamentos. Existe uma necessidade de desenvolvimento de um mercado nacional para microturbinas, sobretudo para o aproveitamento do biogás (1, 2).	
	Potencial de mitigação	1
	Potencial de mitigação acumulado para o aproveitamento de biogás de aterros apresentados no documento "Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos" (3). O potencial acumulado foi convertido à base anual totalizando 3.792 GgCO ₂ eq, de acordo com a metodologia descrita, enquadra-se na faixa de potencial com pontuação 1.	
	Custo de mitigação	4
	O documento "Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos" apresenta custos negativos para o aproveitamento energético de biogás de aterros, o que enquadraria tal tecnologia na categoria de pontuação 5. Todavia, as microturbinas possuem custos superiores aos motores de combustão interna e turbinas convencionais e necessitam de importação. Por este motivo, considerou-se uma pontuação inferior (nota 4).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	Esta tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	As microturbinas apresentam menores emissões de NOx se comparadas aos motores de combustão interna (4, 5).	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A energia elétrica produzida pode ser utilizada nas próprias usinas geradoras ou comercializada (6).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	O aproveitamento energético dos resíduos requer um sistema eficiente de coleta, transporte e triagem/separação. A estruturação dessa cadeia promove a geração de empregos tanto para o projeto, a construção e a operação das usinas produtoras de energia quanto para as etapas de coleta e separação dos resíduos. Ademais, a comercialização ou a utilização da energia produzida pode gerar renda para as unidades produtoras.	
	Vantagens competitivas do Brasil	2
	Considerando as estimativas existentes, o Brasil explora somente de 7% a 20% do biogás produzido a partir de resíduos para fins energéticos (7). Ademais, existe uma dificuldade no acesso às microturbinas no país, que precisam ser importadas (1, 3).	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	É compatível com o tema estratégico de energia, que defende a produção da bioenergia e biocombustíveis como forma de reduzir as emissões de GEE e poluentes atmosféricos a partir da valorização de resíduos urbanos, industriais e agrícolas (8).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	O biogás é destacado no programa RenovaBio e também na PNMC (9, 10).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	É compatível com o eixo estratégico II (Infraestrutura Sustentável), no qual o aproveitamento do biogás produzido a partir dos resíduos é considerado uma alternativa para geração de energia renovável (11).	
	Arcabouço institucional	4
O aproveitamento de biogás para geração de eletricidade é uma das diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída em 2010 (12). Todavia, existe uma carência de linhas de financiamento, marco regulatório e incentivos específicos para projetos de biogás (13). Ademais, a indisponibilidade dos equipamentos no mercado nacional dificulta a difusão desta tecnologia no país.		

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
BIODIGESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSUS) PARA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE E BIOMETANO (RESÍDUOS/RSU)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	Tecnologia madura e aplicada em diversos países (13, 14, 15).	
	Potencial de mitigação	1
	Potencial de mitigação acumulado para a biodigestão de RSU no documento "Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos"(3). O potencial acumulado foi convertido à base anual (889 GgCO ₂ eq) e, de acordo com a metodologia descrita, enquadra-se na faixa de potencial com pontuação 1.	
	Custo de mitigação	4
	O documento "Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos" (3) apresenta custos de 0,37-0,45 US\$/tCO ₂ para a biodigestão de RSU, o que enquadraria tal tecnologia na categoria de pontuação 4.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	O aproveitamento energético do biogás produzido na biodigestão para geração de eletricidade pode provocar emissão de NO _x , mas em quantidades pouco expressivas.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Esta tecnologia promove a geração de eletricidade e biometano, que podem ser utilizados nas plantas ou comercializados (6).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	O aproveitamento energético dos resíduos requer um sistema eficiente de coleta, transporte e triagem/separação. A estruturação dessa cadeia promove a geração de empregos tanto para o projeto, a construção e a operação das centrais biodigestoras quanto para as etapas de coleta e separação. Ademais, a comercialização ou a utilização da energia e do biometano pode gerar renda para as unidades produtoras.	
	Vantagens competitivas do Brasil	2
Existem algumas plantas em operação no Brasil. Contudo, tal tecnologia está implementada de forma pouco expressiva no país (16). Diversos projetos de biodigestão foram implementados e abandonados, sobretudo pelo uso de materiais inadequados e pela falta de assistência técnica (13).		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia encaixa-se no tema estratégico de energia, que defende o desenvolvimento de bioenergia e biocombustíveis a partir de resíduos urbanos, industriais e agrícolas (8).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	O biogás é destacado no programa RenovaBio e também na PNMC (9, 10).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	Encaixa-se no eixo estratégico II (Infraestrutura Sustentável), no qual o aproveitamento energético do biogás produzido a partir de resíduos é considerado como uma alternativa para geração de energia renovável (11).	
	Arcabouço institucional	4
O aproveitamento energético do biogás é uma das diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída em 2010 (12). Todavia, existe uma carência de linhas de financiamento, marco regulatório e incentivos específicos para projetos de biogás (13).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS (RESÍDUOS/RSU E AGRÍCOLA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	Tecnologia desenvolvida e aplicada em diversos países, como Estados Unidos, Japão e países europeus (17).	
	Potencial de mitigação	1
	Potencial de mitigação acumulado para a biodigestão de RSU no documento "Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos" (3). O potencial acumulado foi convertido à base anual (95 GgCO ₂ eq) e, de acordo com a metodologia descrita, enquadra-se na faixa de potencial com pontuação 1.	
	Custo de mitigação	3
	O documento "Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos" apresenta custos de 15,48-23,61 US\$/tCO ₂ para a incineração de RSU, o que enquadra a tecnologia na faixa de custos com pontuação 3.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	2
	Incineradores produzem diversos poluentes, como: material particulado, NO _x , gases ácidos, metais pesados, dioxinas e furanos. Os incineradores modernos já apresentam menores emissões de poluentes. Todavia, observa-se o aumento nas emissões desses mesmos compostos nos outros resíduos dos incineradores (3, 18, 19).	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A incineração dos resíduos tem potencial de recuperação energética para geração de eletricidade, que pode ser aproveitada nas próprias centrais incineradoras (20).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	O aproveitamento dos resíduos requer um sistema eficiente de coleta, transporte e triagem/separação, sobretudo para a incineração, que requer elevada especificação do material. A estruturação dessa cadeia promove a geração de empregos tanto para o projeto, a construção e a operação das centrais incineradoras quanto para as etapas de coleta e separação. Ademais, a comercialização da energia e das cinzas inertes produzidas gera renda para estas unidades (21).	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
	No Brasil, existem poucas plantas incineradoras e estas são destinadas, em sua maioria, ao tratamento de resíduos de serviços de saúde e extraordinários. Atualmente, a empresa Usina Verde, localizada na UFRJ, é pioneira no desenvolvimento de tecnologia para a implantação de usinas de recuperação energética (UREs) de resíduos sólidos, sendo detentora de patentes do processo de incineração (22). Todavia, o país não oferece vantagens competitivas, se comparado ao panorama internacional.	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	É compatível com o tema estratégico de energia. A estratégia defende a redução das emissões dos GEE e poluentes atmosféricos pela valorização dos resíduos urbanos, industriais e agrícolas (8).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A PNMC destaca a incineração com recuperação energética como uma alternativa para a redução das emissões do setor de resíduos (10).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	Embora não seja diretamente mencionada no Programa País para o GCF, a incineração é uma alternativa para o aproveitamento energético dos resíduos que se encaixa no eixo estratégico III (Infraestrutura Sustentável) (11).	
	Arcabouço institucional	4
	A incineração de resíduos é uma das diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída em 2010 (12). Todavia, preocupações com o tratamento de gases poluentes, principalmente metais pesados, têm desestimulado o desenvolvimento desta tecnologia (3).	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
GASEIFICAÇÃO DE RSU POR PLASMA (RESÍDUOS/RSU)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	Embora as tecnologias de plasma possuam elevado nível de maturidade (acima de 6), sua aplicação para o tratamento e/ou aproveitamento de resíduos ainda precisa de investimento em pesquisa e desenvolvimento, especialmente em simulação e modelagem do processo (19). Algumas companhias, como Westinghouse, Europlasma, Tetronics e Phoenix Solutions Company (PSC), já desenvolveram plantas industriais de produção de energia a partir de resíduos utilizando a tecnologia de plasma (23). Desta forma, esta tecnologia já foi testada e qualificada em condições operacionais (TRL 8).	
	Potencial de mitigação	1
	O tratamento de resíduos por plasma possui potencial de mitigação de emissões superior à tecnologia de incineração (24). Porém, de acordo com a metodologia empregada para avaliação do potencial de mitigação e tendo em vista que as tecnologias baseiam-se no tratamento térmico dos resíduos, considerou-se que ambas possuem o mesmo potencial de mitigação.	
	Custo de mitigação	1
	A tecnologia de gasificação por plasma é mais custosa do que o tratamento por gasificação convencional e incineração (25, 26, 27). Esta tecnologia possui elevados custos de capital, principalmente para aplicação em maiores escalas (25).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	A tecnologia reduz emissões de poluentes atmosféricos, como NO _x e SO _x (19, 27).	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	O tratamento de resíduos pela gasificação por plasma pode produzir energia elétrica ou o gás de síntese pode ser aproveitado para produção de combustíveis, químicos ou, então, para extração de hidrogênio puro (23, 24, 26).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	O aproveitamento energético dos resíduos requer um sistema eficiente de coleta, transporte e triagem/separação. A estruturação dessa cadeia promove a geração de empregos tanto para o projeto, a construção e a operação das centrais de gasificação por plasma quanto para as etapas de coleta e separação. Ademais, a utilização ou a comercialização dos energéticos e da escória vitrificada produzidos promove geração de renda adicional para estas unidades.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
	O ITA possui um centro de pesquisas em tecnologias de plasma (28). Projetos para o desenvolvimento de usinas de gasificação por plasma de resíduos nas cidades de Hortolândia (SP) e Planaltina (DF) foram aprovados, porém, não foram encontrados dados recentes sobre sua implementação (29). Por este motivo, considerou-se que, de uma maneira geral, o Brasil não apresenta vantagens competitivas significativas para o desenvolvimento desta tecnologia para o tratamento de resíduos. Desta forma, a tecnologia foi considerada neutra neste indicador	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	É compatível com o tema estratégico de energia, que defende a redução das emissões dos GEE e poluentes atmosféricos pela valorização dos resíduos urbanos, industriais e agrícolas (8).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	Embora esta tecnologia não seja diretamente mencionada nas políticas climáticas nacionais, baseia-se no tratamento térmico dos resíduos com possibilidade de aproveitamento energético, assim como a incineração, que foi destacada na PNMC (10).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	Embora não seja diretamente mencionada no Programa País para o GCF, a gasificação por plasma é uma alternativa para o aproveitamento energético dos resíduos que se encaixa no eixo estratégico III (Infraestrutura Sustentável) (11).	
	Arcabouço institucional	4
	Esta tecnologia não é diretamente apoiada por nenhuma instituição ou regulamentação. Todavia, a PNRS agrupa um conjunto de instrumentos, metas e ações com foco na gestão integrada dos resíduos sólidos. Ademais, a política incentiva o desenvolvimento de sistemas e tecnologias voltados para o tratamento e o aproveitamento energético dos resíduos (12).	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E AGROINDUSTRIAIS (RESÍDUOS/AGRÍCOLA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	A tecnologia já está desenvolvida em escala industrial no país (30). Resta o desafio, contudo, de lidar com a sazonalidade das matérias-primas por meio do domínio tecnológico do processo de codigestão.	
	Potencial de mitigação	4
	Considerou-se o potencial de mitigação pelo aproveitamento da vinhaça dos resíduos das principais culturas agrícolas do país (18.010 GgCO ₂ eq). Para o cálculo do potencial de mitigação pelo aproveitamento da vinhaça, foram utilizados os fatores de emissão da vinhaça disponibilizados por (31) e a produção de etanol em 2017 (32). O potencial de mitigação dos resíduos agrícolas para a geração de eletricidade foi calculado por (33).	
	Custo de mitigação	3
	De acordo com (34, 35), o custo de mitigação para o aproveitamento energético da vinhaça é de 13-16 US\$/tCO ₂ . Conforme a metodologia adotada, este custo encaixa-se na faixa de pontuação 3.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	4
	O aproveitamento dos resíduos agrícolas permite maior diversificação do portfólio de fontes energéticas em um contexto de mudanças climáticas.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na disponibilidade de água	5
	O aproveitamento da vinhaça elimina o perigo da contaminação de águas subterrâneas e cursos d'água pela sua aplicação direta no solo (30).	
	Impacto na produção de alimentos	5
	A vinhaça biodigerida pode ser utilizada como fertilizante e evita a acidificação temporária do solo pela aplicação de vinhaça <i>in natura</i> (36). Parte dos resíduos agrícolas deve ser deixada nas plantações para proteger o solo contra erosão, reter umidade e reciclar os nutrientes perdidos na etapa de colheita (37).	
	Impacto na biodiversidade	4
Por evitar os impactos associados à aplicação de vinhaça <i>in natura</i> nos solos, pode-se concluir que o seu aproveitamento impacta positivamente a biodiversidade.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A energia produzida pelo aproveitamento da vinhaça e dos resíduos agrícolas pode ser utilizada nas próprias usinas e unidades agrícolas ou comercializada. Há, também, a possibilidade de aproveitamento dos resíduos agrícolas para a produção de biocombustíveis e demais produtos similares aos derivados de petróleo.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Geração de empregos na etapa de construção das unidades de aproveitamento da vinhaça e dos resíduos agrícolas. Também ocorre a geração de empregos na formação de uma cadeia de suprimento dos resíduos, que envolve etapas de coleta, transporte e processamento. Assim, as economias locais são estimuladas, promovendo a geração de renda.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil possui grande vantagem competitiva por ser um grande produtor agrícola e que possui elevado potencial de aproveitamento energético dos resíduos (33, 37). É, também, um dos maiores produtores mundiais de etanol e, portanto, de vinhaça. Universidades e centros de pesquisa, como a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), a USP e o CTBE/CNPEM, possuem projetos voltados ao aproveitamento da vinhaça (38).		

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	O aproveitamento da vinhaça e dos resíduos agrícolas encaixa-se nos temas estratégicos de energia e biomas e bioeconomia. A estratégia defende o desenvolvimento de processos industriais mais sustentáveis, sobretudo na utilização de resíduos agrícolas/agroindustriais e urbanos para produção de energia e redução de impactos ambientais (8).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	O aproveitamento energético da vinhaça e dos resíduos agrícolas é compatível com as metas da NDC, pois amplia a participação da bioenergia sustentável na matriz energética brasileira (39). Ademais, a aplicação desta tecnologia possibilitará a participação das usinas no programa RenovaBio (9).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	É compatível com os eixos estratégicos I (Agricultura e Florestas) e II (Infraestrutura Sustentável). O programa defende o investimento em tecnologias que aproveitem fontes alternativas de energia como resíduos da produção de etanol e açúcar, RSUs e resíduos agrícolas (11).	
	Arcabouço institucional	3
Até então, não foram encontradas informações sobre instrumentos legais, tributos e instituições que estimulem o aproveitamento da vinhaça e dos resíduos agrícolas no Brasil. Questões logísticas e econômicas estão associadas ao aproveitamento dos resíduos agrícolas. A necessidade de estabelecimento de uma cadeia logística para a coleta e o transporte dos resíduos implica a reestruturação das atividades rurais e adiciona custos ao processo produtivo.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
FOGÕES SOLARES FOTOVOLTAICOS COM INDUÇÃO (EDIFICAÇÕES/RESIDENCIAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	5
	Os fogões solares funcionam com energia solar, associados a painel e bateria fotovoltaicos instalados, geralmente, no telhado das edificações. Possuem ampla disponibilidade tecnológica, restando o desafio de aplicá-los em toda escala e dimensão possíveis.	
	Potencial de mitigação	1
	Esta tecnologia é uma alternativa à cocção utilizando lenha nas áreas rurais. Seu potencial de mitigação de GEE é pouco expressivo ao nível nacional, sendo mais relevante para a redução da poluição local.	
	Custo de mitigação	5
	Tendo em vista a redução total das emissões, se comparada com os fogões a lenha, esta tecnologia foi pontuada com a nota máxima neste indicador (1).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
	O funcionamento da tecnologia depende da incidência dos raios solares. Alterações climáticas podem afetar a disponibilidade e a intensidade do recurso.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	Os fogões solares são uma alternativa aos fogões a lenha, utilizados sobretudo em áreas rurais e regiões isoladas do país, que provocam a emissão de gases poluentes nas residências e ocasionam problemas de saúde à população (2).	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	Esta tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	Esta tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
A utilização desta tecnologia em localidades isoladas substitui a utilização da lenha e reduz a degradação de florestas provocada pela extração (2).		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	5
	Energia renovável e limpa para as famílias do meio rural em substituição à lenha, aos gravetos e a outros materiais utilizados para cocção (2, 3, 4).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Geração de emprego na etapa de fabricação do equipamento e construção de uma cadeia produtiva associada. A geração de renda ocorre pelo aumento da disponibilidade dos habitantes do meio rural, que dedicam muito tempo à coleta da lenha, para exercer atividades remuneradas (2).	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	O país possui elevada disponibilidade do recurso. Centros de pesquisa da UFRN já fabricaram modelos de fogões solares que comprovaram a sua viabilidade para substituir tanto o uso da lenha quanto dos botijões de gás (4). Atualmente, uma empresa fabrica e comercializa fogões solares no Brasil (5).	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia não é citada diretamente na ENCTI, mas se encaixa no tema estratégico de energia que incentiva ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação para as fontes renováveis de energia (6).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é citada diretamente nas políticas climáticas nacionais, mas se encaixa dentro das propostas das NDCs de incentivo às fontes renováveis e da expansão do uso doméstico de fontes de energia não fóssil (7, 8).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é diretamente citada no programa, mas se encaixa no eixo estratégico III (Cidades, Comunidades e Territórios Resilientes), que incentiva o desenvolvimento de soluções para habitações que aumentem a resiliência e a sustentabilidade da população de baixa renda, dos povos indígenas e de comunidades tradicionais (9).	
	Arcabouço institucional	3
	Até o momento, não foram encontradas informações sobre instrumentos legais, tributos e instituições que estimulem o desenvolvimento de fogões solares no Brasil. Ademais, questões culturais estão associadas ao desenvolvimento desta tecnologia, devido à dificuldade de adaptação da população rural à nova tecnologia e à impossibilidade de utilização no período noturno.	

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CENTRAIS MICROGERADORAS RENOVÁVEIS: MICROTURBINAS EÓLICAS, OPV E CÉLULAS DE FILMES FINOS (EDIFICAÇÕES/RESIDENCIAL, COMERCIAL E SERVIÇOS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	Turbinas eólicas e painéis fotovoltaicos de silício possuem elevada maturidade tecnológica (TRL 9). Todavia, tecnologias mais inovadoras, como os painéis fotovoltaicos constituídos de células orgânicas (OPV) e de filmes finos, possuem eficiência limitada e estão em fase de desenvolvimento para produção em escala industrial. Referências indicam um nível de prontidão tecnológica na faixa de TRL 6-8 (10, 11, 12, 13).	
	Potencial de mitigação	1
	O potencial de mitigação foi calculado, assumindo-se que todo o consumo energético do setor de edificações seria atendido por centrais microgeradoras renováveis. Portanto, o potencial de mitigação considerado é equivalente às emissões do setor e foi calculado a partir do consumo energético em 2015 (14) e do fator de emissão do <i>grid</i> (15). De acordo com a metodologia adotada, o potencial determinado (8,36 GgCO ₂) enquadra-se na faixa de potencial com pontuação 1.	
	Custo de mitigação	1
	Os custos foram determinados com base em (16) e representam a média dos custos de abatimento para geração fotovoltaica nas cinco regiões brasileiras (4.790 US\$/tCO ₂).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	1
	As mudanças climáticas podem alterar a disponibilidade dos recursos renováveis e a eficiência de painéis fotovoltaicos e máquinas térmicas (17, 18).	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Substituição das fontes fósseis para geração de energia, que emitem poluentes atmosféricos e impactam negativamente a saúde humana.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	As fontes renováveis de energia solar e eólica demandam uma quantidade muito inferior de água do que as fontes fósseis convencionais. Aplicações dessas tecnologias para dessalinização e bombeamento da água podem aumentar a oferta de água potável (19). Embora tais efeitos positivos possam ser observados pela utilização das fontes renováveis, de maneira geral, considerou-se que esta tecnologia é neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A geração de energia ocorre nas próprias unidades consumidoras (edificações), reduzindo a demanda total de energia do <i>grid</i> elétrico e as perdas de transmissão e distribuição (19, 20).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	O desenvolvimento das tecnologias de microgeração por fontes renováveis de energia exige a formação de mão de obra qualificada para a realização de pesquisa e desenvolvimento, fabricação de equipamentos, projetos, instalação e manutenção dos sistemas. Os segmentos de fabricação e de serviços representam grande parte das oportunidades de emprego, o que promove a geração de renda e impactos positivos sobre as economias locais (21).	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
O país possui grande disponibilidade dos recursos solar e eólico para as microgeradoras (22).		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	A microgeração encaixa-se nos temas estratégicos de energia e clima. A ENCTI defende a implantação de um instituto de tecnologia em energias renováveis, com foco inicial na criação de um centro de testes e demonstração em energias renováveis para o fortalecimento destas tecnologias no território nacional (6).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	As centrais microgeradoras renováveis são incentivadas por diversas políticas climáticas nacionais. A PNMC defende o desenvolvimento da geração distribuída como forma de reduzir as perdas na transmissão e na distribuição e dar confiabilidade ao sistema elétrico. Para o setor de edificações, a política defende a utilização de energias renováveis (23). As NDCs propõem a participação de 45% de fontes renováveis na matriz energética em 2030 (8).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A microgeração encaixa-se no eixo estratégico II (Infraestrutura Sustentável). O programa defende a priorização de alternativas que foquem a diversificação da matriz energética, sobretudo a partir de fontes renováveis, como a geração fotovoltaica e eólica (9).	
	Arcabouço institucional	5
A Resolução Normativa nº 482/2012 da Aneel estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica (24). Ademais, existem programas institucionais no país, como o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), do MME, que visa promover a ampliação da geração distribuída em edificações, e o Plano Inova Energia, da Aneel, que objetiva coordenar ações de fomento à inovação e ao aprimoramento da integração dos instrumentos de apoio disponibilizados pelo BNDES, pela Aneel e pela Finep para o desenvolvimento e o domínio tecnológico das energias renováveis alternativas no Brasil (25, 26). Incentivos fiscais, como a isenção de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e IPI e a inclusão de equipamentos para geração solar e eólica no Programa Mais Alimentos, que possibilita financiamentos a juros mais baixos, podem estimular a implementação da microgeração renovável nas edificações (27).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SMART GRIDS (EDIFICAÇÕES/RESIDENCIAL, COMERCIAL E SERVIÇOS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	O desenvolvimento do <i>smart grid</i> (ou redes inteligentes) está associado à adoção de políticas energéticas, e iniciativas vêm sendo demonstradas em diversos países (28, 29). No Brasil, as redes inteligentes ainda estão em fase inicial de implementação, com alguns projetos-piloto em execução. De uma forma geral, esta tecnologia encontra-se em um processo acelerado de desenvolvimento (30). Por este motivo, considerou-se um nível 6 de prontidão tecnológica, que indica que a tecnologia está sendo testada em ambiente operacional.	
	Potencial de mitigação	1
	Existe uma dificuldade na quantificação do potencial de mitigação de emissões de GEE associado à implementação de redes inteligentes. Todavia, tendo em vista que o setor de edificações é o menos expressivo no contexto das emissões nacionais e o baixo fator de emissão do <i>grid</i> , considerou-se que esta tecnologia possui baixo potencial de mitigação (31).	
	Custo de mitigação	1
	A implantação das redes inteligentes está associada a um elevado investimento em medidores inteligentes, infraestrutura de tecnologia da informação e telecomunicação (30). De acordo com (32), o investimento acumulado até 2030 para a adoção das redes inteligentes, no Brasil, está entre R\$ 44 e R\$ 83 bilhões. Conforme (33), os custos nivelados das redes inteligentes, no país, oscilam entre 5,2 e 6,7 mil R\$/MWh até 2030. Considerando um fator de emissão do <i>grid</i> de 0,124 tCO ₂ /MWh (15), os custos nivelados estão na faixa de 647 a 834 R\$/tCO ₂ (208 a 268 US\$/tCO ₂).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
Esta tecnologia é neutra neste indicador.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	5
	As redes inteligentes propiciam o aumento da qualidade dos serviços energéticos, por meio da diminuição do número e da duração das interrupções no fornecimento de energia, bem como da maior eficiência na transmissão de eletricidade (realizada por cabos supercondutivos). Também reduzem a dependência das grandes usinas para o abastecimento da rede, pois permitem a utilização de pequenas usinas geradoras ao longo do caminho (oportunidade para a microgeração renovável), facilitam o uso variado da energia (pelo abastecimento de veículos híbridos) e reduzem a ocorrência de roubos de energia (30, 33, 34).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	5
	As redes inteligentes incentivam a geração de empregos e renda, pois estimulam a criação de uma indústria nacional de fabricação de medidores inteligentes e geram incentivos à redução do consumo de energia nos horários de ponta (33).	
Socioeconômico	Vantagens competitivas do Brasil	3
	O país não apresenta vantagens competitivas para o desenvolvimento das redes inteligentes. No Brasil, as redes de distribuição são baseadas em tecnologias convencionais com nível limitado de automação e estão sujeitas às condições do clima e da vegetação (35). Ademais, existe a necessidade de capacitação industrial para suprir o mercado com as tecnologias necessárias.	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	Os <i>smart grids</i> encaixam-se no tema estratégico de energia, que propõe o desenvolvimento de tecnologias associadas às redes elétricas inteligentes, novas tecnologias de transmissão e distribuição e armazenamento de energia, visando à maior segurança do SIN (6).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é diretamente citada nas políticas climáticas nacionais, mas se encaixa nas metas da PNMC para redução das perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica e da adoção de um sistema de planejamento integrado que permita ganhos de eficiência no uso da energia (23).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é diretamente citada no Programa País para o GCF, mas se encaixa nos eixos estratégicos II (Infraestrutura Sustentável) e III (Cidades, Comunidades e Territórios Resilientes), que visam à utilização de materiais e tecnologias mais eficientes no setor de edificações (9).	
	Arcabouço institucional	4
Algumas instituições lançaram programas de incentivo ao desenvolvimento das redes inteligentes no país. A Aneel lançou o Programa Brasileiro de Redes Inteligentes, que tem como objetivo realizar a migração tecnológica do setor elétrico brasileiro para a adoção plena do conceito de redes inteligentes em todo o país (36, 37). A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) estruturou um projeto temático de tecnologias de informação e comunicação com foco no mapeamento da cadeia fornecedora de produtos e serviços para as redes inteligentes (38). Em 2018, um Projeto de Lei do Senado (PLS nº 356/2017), que incentiva a modernização das instalações do serviço público de distribuição de energia elétrica com nova arquitetura de redes inteligentes, foi aprovado pela Comissão de Serviços de Infraestrutura (CI) da Casa (39, 40).		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
NOVOS MATERIAIS APLICADOS EM ZERO ENERGY BUILDINGS (EDIFICAÇÕES/RESIDENCIAL, COMERCIAL E SERVIÇOS)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	Os zero energy buildings (ZEBs) implicam uma profunda transformação no setor de construção e na disponibilidade de tecnologias eficientes no mercado (41). Muitos materiais representam tecnologias já desenvolvidas e disponíveis atualmente (telhados verdes, gesso verde, telhados refletivos, sistemas de insulação térmica, aquecimento de pisos e sistemas eficientes de iluminação e ventilação) (42, 43, 44). Todavia, soluções mais inovadoras, como phase change materials (PCMs), fachadas cinéticas, materiais termoelétricos com condutividade variada e novas gerações de vidros seletivos, ainda estão em fase de desenvolvimento (45, 46, 47). Por este motivo, considerou-se um nível de prontidão tecnológica médio, equivalente ao TRL 6-7.	
	Potencial de mitigação	1
	Novos materiais para ZEBs não incluem geração distribuída, inovações em materiais já consideradas no setor industrial e tecnologias não inovadoras, como telhados verdes e lâmpadas eficientes, por exemplo. O baixo fator de emissão do <i>grid</i> e o fato de que esta tecnologia se insere em um setor pouco expressivo nas emissões nacionais (31) justificam seu baixo potencial de mitigação.	
	Custo de mitigação	3
	Alguns materiais apresentam soluções de custos baixo e médio, como: telhados verdes, gesso verde, lâmpadas eficientes e sistemas de ventilação, por exemplo. Porém, alternativas mais inovadoras, como PCMs, fachadas cinéticas, materiais termoelétricos com condutividade variada e novas gerações de vidros seletivos, possuem custos elevados. Por este motivo, considerou-se que, na média, a pontuação desta tecnologia, de acordo com o indicador de custos, possui valor intermediário (45, 46, 47).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	Esta tecnologia é neutra neste indicador.	
	Impacto na biodiversidade	3
Esta tecnologia é neutra neste indicador.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Os novos materiais para os ZEBs possibilitam a redução no consumo de energia das edificações. Ademais, a integração dos ZEBs com veículos elétricos permite que estes funcionem como armazenadores de energia, estocando eventuais excessos de energia gerados (a partir de fontes renováveis), que será utilizada nos momentos em que a demanda energética nas edificações superar a produção local (48).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	5
	A geração de emprego está associada à criação de novos produtos e ao estabelecimento das suas cadeias produtivas, que, por sua vez, estimulam a economia local e geram renda. Ocorre, também, a geração de empregos qualificados para a pesquisa e desenvolvimento dos novos materiais e no setor de construção civil. Ademais, a redução no consumo de energia decorrente da utilização destes materiais aumenta a disponibilidade de renda.	
	Vantagens competitivas do Brasil	3
	O Brasil não apresenta iniciativas expressivas para o desenvolvimento dos ZEBs, e o Centro Sebrae é um instituto de referência em ZEBs no país. Países como Estados Unidos, França, Alemanha e Austrália lideram o mercado dos ZEBs (49). Por este motivo, esta tecnologia foi considerada neutra neste indicador.	
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	Inovações em materiais para os ZEBs enquadram-se no tema de tecnologias convergentes e habilitadoras da ENCTI, que incentiva o desenvolvimento de materiais avançados e sustentáveis (6).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	Inovações em materiais para os ZEBs são compatíveis com a PNMC, que enfatiza a implementação de programas para regulamentação do nível de eficiência energética de edificações e que abrangem aspectos como sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória, por exemplo (23).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	Os novos materiais para os ZEBs enquadram-se nos eixos estratégicos II (Infraestrutura Sustentável) e III (Cidades, Comunidades e Territórios Resilientes) do Programa País para o GCF, que propõe a utilização de materiais mais eficientes nas habitações e nas edificações (9).	
	Arcabouço institucional	4
	Certificações aplicadas às edificações, como o Selo Procel Edificações e os certificados LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e GBC (Green Building Council) Brazil Zero Energy podem estimular o desenvolvimento de novos materiais para os ZEBs no Brasil. O Selo Procel Edificações é um instrumento de adesão voluntária que visa identificar edificações com classificações elevadas de eficiência energética. Para a certificação das edificações, são avaliados os sistemas de envoltória, iluminação, condicionamento e aquecimento de água (50). O certificado LEED é um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações que visa incentivar sua transformação sustentável. Entre os aspectos avaliados nas etapas de certificação, destacam-se materiais e recursos, eficiência no uso da água e inovação e processos (51). Já a certificação GBC Brazil Zero Energy é uma ferramenta que visa impulsionar o desenvolvimento dos ZEBs e a transformação das edificações existentes (52). Embora tais iniciativas sejam úteis para estimular a redução do consumo de energia nas edificações e os ZEBs, elas não são voltadas para o desenvolvimento de novos materiais.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
AGRICULTURA DE PRECISÃO (AFOLU/AGRICULTURA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	A tecnologia já possui elevado grau de maturidade global. Contudo, não é amplamente aplicada e difundida no Brasil.	
	Potencial de mitigação	4
	A expansão da agricultura de precisão possui um potencial relevante de capacidade de remoção de CO ₂ pela redução da aplicação de fertilizantes (emissões indiretas). Contudo, não é possível afirmar que haverá benefícios direto e no curto prazo em áreas manejadas sob técnicas da agricultura de precisão, uma vez que esse resultado dependerá da variabilidade encontrada em cada área, da tecnologia e das soluções de manejo empregadas, entre outras variáveis.	
	Custo de mitigação	3
	O custo varia dentro de uma faixa bastante ampla. Neste sentido, optou-se pela mediana, conforme a normalização dos custos, o que implica neutralidade no indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	4
	Tendo em vista que um dos objetivos da agricultura de precisão seja racionalizar o uso de recursos e insumos, o desenvolvimento de sistemas otimizados capazes de integrar mapas de produtividade e dados climáticos (previsão e monitoramento) permite internalizar os riscos climáticos no manejo agrícola.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	O controle da aplicação de insumos com potencial poluidor, como fertilizantes, corretivos e defensivos (herbicidas, fungicidas, inseticidas, entre outros), para cada sítio, pode diminuir os impactos ambientais, inclusive reduzir a poluição.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	A irrigação de precisão permite reduzir o uso de recursos hídricos com base em dados obtidos por sensores que medem a necessidade efetiva das lavouras, aumentando, desse modo, a disponibilidade de água para outros usos.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	Com a aplicação da tecnologia, espera-se um aumento na produção de alimentos.	
	Impacto na biodiversidade	2
	A aplicação da agricultura de precisão tem maior predomínio em monocultivos do que em plantios diversificados, afetando negativamente a biodiversidade.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Nos benefícios esperados com a adoção da agricultura de precisão, inclui-se relevante aumento da produtividade da lavoura, inclusive na indústria canavieira. Além da produção da cana-de-açúcar, o etanol pode ser utilizado para fins energéticos.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	2
	A tecnologia objetiva automatização de processos, levando a uma menor utilização de mão de obra.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas mundiais, e a expansão da agricultura de precisão poderia aumentar a eficiência de produção e economizar recurso. Logo, seriam muito relevantes os impactos decorrentes da obtenção de vantagens competitivas.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	A tecnologia possui forte sinergia com a ENCTI (1, 2). No tema "alimentos" da estratégia, é destacada a importância de focar esforços na automação e na agricultura de precisão.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A agricultura de precisão não é explicitada nas políticas climáticas nacionais, mas possui sinergia com o princípio de "estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura" das NDCs (3).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é explicitada no documento, mas possui sinergia com o eixo estratégico 3.1 – Agricultura e Florestas (3.1.3 – Agricultura de baixa emissão de carbono e adaptação no setor produtivo) (4).	
	Arcabouço institucional	4
Diante do quadro institucional brasileiro e seus instrumentos, observa-se que existe viabilidade para desenvolvimento e expansão da tecnologia, no particular do PL nº 149/2019, que trata da Política Nacional de Incentivo à Agricultura de Precisão. Contudo, são necessários maiores esforços para sua implementação no contexto agrícola nacional.		

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
ALTERNATIVAS DE CARBONO AO NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO (AFOLU/AGRICULTURA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	A tecnologia não está completamente desenvolvida no Brasil.	
	Potencial de mitigação	4
	A alternativa possui relevante potencial de mitigação em função da redução esperada da aplicação de fertilizantes sintéticos (5).	
	Custo de mitigação	3
	O custo varia dentro de uma faixa bastante ampla diante das opções tecnológicas incluídas nessa medida. Neste sentido, optou-se pela mediana, conforme a normalização dos custos, o que implica neutralidade no indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério, pois não apresenta vulnerabilidade aos efeitos esperados das mudanças do clima.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	A aplicação da tecnologia implica redução da aplicação de insumos fertilizantes sintéticos, menor lixiviação e emissão de GEE.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério, pois não apresenta impacto na disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	A tecnologia é uma alternativa ao uso de agroquímicos, muitos dos quais importados, contribuindo para a segurança alimentar.	
	Impacto na biodiversidade	4
A tecnologia leva a menor potencial de contaminação de ecossistemas em face da substituição a fertilizantes convencionais (sintéticos).		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	A tecnologia é neutra em relação a este indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia é neutra em relação a este indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas mundiais, e 77% dos componentes do NPK são importados. Logo, o desenvolvimento dessa tecnologia pode aumentar significativamente as vantagens competitivas agrícolas do país, reduzindo os custos de produção.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia não é explicitada na ENCTI, mas tem sinergia e pode ser adequada ao tema estratégico "alimentos", no particular da estratégia associada ao "fortalecimento das pesquisas em áreas de fronteira do conhecimento (biotecnologia, bioinformática, nanotecnologia, modelagem, simulação e automação), visando ao aumento da produtividade, à adaptação à mudança do clima e à defesa agropecuária" (2).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia possui sinergia com o Plano ABC (6), no que trata da fixação biológica de nitrogênio.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é explicitada no documento, mas possui sinergia com o eixo estratégico 3.1 – Agricultura e Florestas (3.1.3 – Agricultura de baixa emissão de carbono e adaptação no setor produtivo) (4).	
	Arcabouço institucional	4
	O país possui arcabouço legal para implementação da tecnologia. Contudo, são necessárias adaptações para difusão.	

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
MELHORAMENTO GENÉTICO AGRÍCOLA POR MEIO DA FENOTIPAGEM ROBÓTICA (AFOLU/AGRICULTURA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	O melhoramento genético agrícola é uma tecnologia difundida globalmente, com espaço para maior difusão em nível nacional. Novos avanços na fronteira do conhecimento sobre organismos adaptados aos efeitos das mudanças do clima e dos efeitos, no longo prazo, que organismos geneticamente modificados (OGMs) têm sobre a saúde humana e a biodiversidade podem beneficiar o grau de maturidade da tecnologia.	
	Potencial de mitigação	4
	Possui relevante potencial de mitigação em função da redução esperada da aplicação de fertilizantes.	
	Custo de mitigação	3
	O custo varia dentro de uma faixa bastante ampla diante das opções tecnológicas incluídas nessa medida. Neste sentido, optou-se pela mediana, conforme a normalização dos custos, o que implica neutralidade no indicador.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	4
Tem-se a possibilidade de cultivos adaptados às mudanças do clima (resistentes a altas temperaturas, escassez de água etc.).		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	3
	A tecnologia implica benefícios e <i>trade-offs</i> equivalentes, motivo pelo qual é neutra neste critério.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	A tecnologia diminui a demanda hídrica de cultivos.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	Implica aumento da produção agrícola, bem como alimentos com maior aproveitamento energético e que têm maior durabilidade.	
	Impacto na biodiversidade	2
Cultivos agrícolas geneticamente modificados podem causar redução da biodiversidade.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Ganhos de produtividade agrícola pode favorecer o aumento da produção de biocombustíveis.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas mundiais, e a implementação da tecnologia pode aumentar ainda mais as vantagens competitivas do país.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia não é explicitada na ENCTI, mas tem sinergia e pode ser adequada ao tema estratégico "alimentos", no particular da estratégia associada ao "fortalecimento das pesquisas em áreas de fronteira do conhecimento (biotecnologia, bioinformática, nanotecnologia, modelagem, simulação e automação), visando ao aumento da produtividade, à adaptação à mudança do clima e à defesa agropecuária" (2).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é explicitada nas políticas climáticas nacionais, mas possui sinergia com o Plano ABC, no que se refere à "adaptação às mudanças climáticas" (6), e ao projeto RenovaBio (7).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é explicitada no documento, mas possui sinergia com eixo estratégico 3.1 – Agricultura e Florestas (3.1.3 – Agricultura de baixa emissão de carbono e adaptação no setor produtivo) (4).	
	Arcabouço institucional	4
O país possui arcabouço legal para implementação da tecnologia. Contudo, são necessárias adaptações para difusão.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
MELHORAMENTO GENÉTICO ANIMAL NA PECUÁRIA BOVINA DE CORTE (AFOLU/PECUÁRIA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	A engenharia genética já é uma tecnologia estudada e aplicada globalmente, como é o caso da seleção e do cruzamento de animais do rebanho com características de interesse. Contudo, existem importantes lacunas no conhecimento científico sobre melhoramento genético em eficiência alimentar, e, por isso, são necessários avanços no conhecimento científico a respeito dessa tecnologia. Mais do que isso, é preciso integrar este conhecimento por meio de ferramentas acessíveis a todos produtores rurais, independentemente do porte.	
	Potencial de mitigação	4
	A tecnologia possui relevante potencial de mitigação em função da redução esperada na emissão de metano em animais com maior eficiência alimentar (10).	
	Custo de mitigação	3
	O custo varia dentro de uma faixa bastante ampla diante das opções tecnológicas incluídas nessa medida. Neste sentido, optou-se pela mediana, conforme a normalização dos custos, o que implica neutralidade no indicador. Em geral, os custos de seleção genética podem variar conforme métodos de mensuração de consumo individual e de melhoramento genético (exposição da fêmea ao touro, inseminação artificial, inseminação artificial em tempo fixo, por exemplo).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	4
	Possibilidade da seleção de indivíduos mais adaptados às mudanças do clima.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	O melhoramento genético reduz emissões de GEE, trazendo, conseqüentemente, benefícios para a saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	A tecnologia aumenta a produção de carne bovina.	
	Impacto na biodiversidade	2
Seleção de características podem aumentar homoziguidade do rebanho.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é um dos maiores produtores de carne bovina, e a implementação da tecnologia pode aumentar ainda mais as vantagens competitivas do país.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia não é explicitada na ENCTI, mas tem sinergia e pode ser adequada ao tema estratégico "alimentos", no particular da estratégia associada ao "fortalecimento das pesquisas em áreas de fronteira do conhecimento (biotecnologia, bioinformática, nanotecnologia, modelagem, simulação e automação), visando ao aumento da produtividade, à adaptação à mudança do clima e à defesa agropecuária" (2).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia não é explicitada na política climática nacional, mas possui sinergia com as oportunidades de mitigação do setor agrícola da PNMC, com relação à intensificação da pecuária bovina, e com o Plano ABC, no que se refere à ação de adaptação às mudanças climáticas visando "incentivar e apoiar programas de conservação e uso sustentável de recursos genéticos e de melhoramento vegetal e animal, com ênfase na sua adaptação aos fatores bióticos e abióticos predominantes nos cenários previsíveis de aquecimento médio equivalente a 2 °C" (6).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	A tecnologia não é explicitada no documento, mas possui sinergia com o eixo estratégico 3.1 – Agricultura e Florestas (3.1.3 – Agricultura de baixa emissão de carbono e adaptação no setor produtivo) (4).	
	Arcabouço institucional	4
O país possui arcabouço legal para implementação da tecnologia. Contudo, são necessárias adaptações para difusão.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SUPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL (AFOLU/PECUÁRIA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	A suplementação nutricional já é uma prática adotada globalmente. Contudo, são necessários novos avanços no conhecimento científico e desenvolvimento tecnológico de novos produtos, tais como nutrição de precisão, suplementação de nutrientes e inibição de produção de metano no rúmen.	
	Potencial de mitigação	4
	A suplementação nutricional reduz a necessidade de abertura de novas áreas de pasto, possibilita o aumento da produtividade animal e a redução de idade de abate (8), fatores que contribuem para redução das emissões de GEE.	
	Custo de mitigação	3
	O custo varia dentro de uma faixa bastante ampla diante das opções tecnológicas incluídas nessa medida. Neste sentido, optou-se pela mediana, conforme a normalização dos custos, o que implica neutralidade no indicador. Em geral, os custos variam entre o tipo de suplementação e o objetivo: sal mineral, volumoso, ração/concentrado e suplementos específicos (nutrição de precisão, suplementação de nutrientes, inibição de produção de metano no rúmen).	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
	Tem-se a possibilidade de redução da disponibilidade de insumos para produção de volumoso e concentrado em virtude de fenômenos climáticos extremos.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	A aplicação da tecnologia reduz o tempo de abate e a emissão de metano.	
	Impacto na disponibilidade de água	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	Leva a aumento da produção de alimentos.	
	Impacto na biodiversidade	3
A tecnologia é considerada neutra neste critério.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é um grande produtor de carnes e a implementação da tecnologia pode aumentar ainda mais as vantagens competitivas do país.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	4
	A tecnologia não é explicitada na ENCTI, mas tem sinergia e pode ser adequada ao tema estratégico "alimentos", no particular da estratégia associada ao "fortalecimento das pesquisas em áreas de fronteira do conhecimento (biotecnologia, bioinformática, nanotecnologia, modelagem, simulação e automação), visando ao aumento da produtividade, à adaptação à mudança do clima e à defesa agropecuária" (2).	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	4
	A tecnologia possui sinergia com as oportunidades de mitigação do setor agrícola reportadas no PNMC (9), no particular da intensificação da pecuária bovina.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	2
	A tecnologia não é explicitada no documento e possui baixa sinergia com o eixo estratégico 3.1 – Agricultura e Florestas (3.1.3 – Agricultura de baixo carbono e adaptação no setor produtivo).	
	Arcabouço institucional	4
Verifica-se quadro institucional favorável à implementação da tecnologia. Porém, existem barreiras que podem dificultar sua expansão, como, por exemplo, dificuldade de acesso ao crédito rural, principalmente pequeno e médio produtor, assim como carência de assistência técnica rural.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SILVICULTURA DE PRECISÃO (AFOLU/OUTROS USOS DA TERRA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	Geotecnologias (satélites, fotografias aéreas, LiDAR etc.) estão disponíveis comercialmente. Contudo, são necessários avanços relevantes na concepção e na implementação de sistemas eficientes para coleta, análise e monitoramento de dados espaciais.	
	Potencial de mitigação	5
	Relevante potencial de mitigação em razão do aumento esperado de produtividade florestal e redução da aplicação de fertilizantes (emissões indiretas).	
	Custo de mitigação	5
	A tecnologia apresenta custo marginal de abatimento significativamente negativo.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	4
Sistemas eficientes capazes de integrar mapas de produtividade sítio-específicos e dados climáticos permitem internalizar os riscos climáticos.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	A tecnologia reduz a aplicação de insumos (fertilizantes, corretivos e defensivos etc.).	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	O monitoramento dos parâmetros qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos e edáficos, implícitos à tecnologia, pode resultar na otimização do uso da água.	
	Impacto na produção de alimentos	3
	A tecnologia é neutra neste critério.	
	Impacto na biodiversidade	1
Reduz significativamente a biodiversidade, em face da aplicação da silvicultura de precisão em monocultivos clonais de <i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i> .		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Ganhos de produtividade florestal podem permitir maior oferta de produtos madeireiros para fins energéticos (isto é, cavaco de madeira).	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	2
	A silvicultura de precisão implicada em automatização de processos, levando, conseqüentemente, à menor utilização de mão de obra.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O Brasil é referência no mercado (interno e externo) de produtos florestais em razão de suas características edafoclimáticas e de suas tecnologias. Logo, seriam muito relevantes os impactos decorrentes da obtenção de vantagens competitivas.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	A tecnologia possui grande sinergia com o fortalecimento das pesquisas de modelagem, simulação e automação, visando ao aumento da produtividade, à adaptação à mudança do clima e à defesa agropecuária, aspectos abrangidos na ENCTI.	
	Sinergias com políticas climáticas nacionais	5
	A NDC prevê explicitamente a expansão de florestas plantadas, tornando a tecnologia muito relevante em razão dos ganhos de produtividade e escala.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	4
	Grande aderência ao eixo estratégico 3.1 – Agricultura e Florestas, que trata do “manejo sustentável dos ativos florestais, economia florestal e acesso a mercado” (4).	
	Arcabouço institucional	5
O Brasil conta com instituições de referência em pesquisa, como a Embrapa Florestas. Possui, ainda, um Plano Nacional de Florestas Plantadas.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
PLANTIOS MISTOS DE EXÓTICAS E NATIVAS (AFOLU/OUTROS USOS DA TERRA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	1
	As técnicas atuais de plantios mistos são majoritariamente voltadas para monoculturas exóticas. É necessário avançar significativamente no conhecimento para espécies nativas, incluindo melhoramento genético e modelos silviculturais mistos.	
	Potencial de mitigação	5
	Relevante potencial de mitigação em razão do aumento esperado de produtividade florestal e da redução de fertilizantes. Espera-se aumento dos estoques de carbono no solo em comparação com plantios tradicionais.	
	Custo de mitigação	4
	A tecnologia apresenta custo marginal de abatimento ligeiramente negativo.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	4
Plantios mistos favorecem o aumento da biodiversidade e a resiliência climática em comparação com monocultivos de espécies exóticas.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Quando bem manejados, os plantios mistos podem reduzir a aplicação de fertilizantes e defensivos em comparação com monocultivos de espécies exóticas.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	Quando utilizados para recuperação de áreas degradadas, podem contribuir para o restabelecimento de serviços ecossistêmicos, incluindo a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	Tem-se a possibilidade de combinação de espécies madeireiras e não madeireiras voltadas para a produção de alimentos.	
	Impacto na biodiversidade	4
Plantios mistos favorecem o aumento da biodiversidade e resiliência climática em comparação com monocultivos de espécies exóticas. Há, também, potencial de inclusão de espécies nativas ameaçadas de extinção.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	Espera-se que a produção de madeira em plantios mistos concentre-se em madeiras mais nobres e outros usos não energéticos. Logo, a tecnologia é considerada neutra neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	Plantios mistos tendem a ter um impacto positivo na geração de emprego, principalmente pela contratação de mão de obra local. Espera-se, também, uma agenda socioeconômica positiva relacionada à restauração florestal.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O país encontra-se em posição privilegiada por possuir a maior biodiversidade florística do mundo (espécies nativas) e apresentar as maiores taxas de produção florestal a partir de espécies exóticas (<i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i>). Logo, seriam muito relevantes os impactos decorrentes da obtenção de vantagens competitivas.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	Alta sinergia com os Planos de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação em Biomas e Bioeconomia, que preveem investimentos em tecnologias de restauração florestal e geradoras de biomassa, respectivamente (11).	
	Sinergias com a NDC	5
	A NDC prevê explicitamente a expansão de florestas plantadas para usos múltiplos, sendo esta flexibilidade o ponto central da tecnologia.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A tecnologia possui grande sinergia com o eixo estratégico I (Agricultura e Florestas), que trata do “manejo sustentável dos ativos florestais, economia florestal e acesso a mercado” (4).	
	Arcabouço institucional	5
O Brasil conta com instituições de referência em pesquisa, como a Embrapa Florestas. Possui, ainda, um Plano Nacional de Florestas Plantadas.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
MELHORAMENTO GENÉTICO FLORESTAL (AFOLU/OUTROS USOS DA TERRA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	4
	O melhoramento genético atual é majoritariamente voltado para monoculturas exóticas (<i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i>), sendo necessário avançar no conhecimento científico e tecnológico relacionado a espécies nativas. Atualmente, tem-se a validação apenas de conceito em laboratório do melhoramento genético de nativas.	
	Potencial de mitigação	4
	Relevante potencial de mitigação em função do aumento esperado de produtividade florestal, redução de fertilizantes e restabelecimento de serviços ecossistêmicos.	
	Custo de mitigação	5
	A tecnologia apresenta custo marginal de abatimento significativamente negativo.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	2
O melhoramento genético pode contribuir para seleção de variedades resilientes. No entanto, os esforços são direcionados atualmente para produção de clones exóticas, o que impacta negativamente a resiliência climática.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Relevante potencial para fomentar o estabelecimento de plantios de espécies nativas e mistos para restauração de serviços ecossistêmicos, incluindo a redução da poluição e benefícios para a saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	Relevante potencial para fomentar o estabelecimento de plantios de espécies nativas e mistos para restauração de serviços ecossistêmicos, incluindo impactos positivos na disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	Potencial de utilização do melhoramento genético para fins de estabelecimento de arranjos silviculturais mistos visando à produção madeireira e de alimentos (isto é, inclusão de espécies frutíferas).	
	Impacto na biodiversidade	2
Melhoramento genético atualmente tem foco na produção de clones para plantios comerciais em detrimento do aumento do uso de sistemas diversos.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	Espera-se que a exploração de espécies madeireiras concentre-se em madeiras mais nobres e outros usos não energéticos. Logo, a tecnologia é considerada neutra neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia é considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O país encontra-se em posição privilegiada por ser referência internacional na área de melhoramento genético de espécies madeireiras.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	Alta sinergia com os Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia, que prevê investimentos em tecnologias de geradoras de biomassa, respectivamente (11).	
	Sinergias com a NDC	5
	A NDC prevê explicitamente a expansão de florestas plantadas para múltiplos usos, o que torna a tecnologia altamente relevante para o aprimoramento dos arranjos silviculturais e aumento da produtividade.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A tecnologia possui grande sinergia com o eixo estratégico I (Agricultura e Florestas), que trata do "manejo sustentável dos ativos florestais, economia florestal e acesso a mercado" (4).	
	Arcabouço institucional	5
O Brasil conta com instituições de referência em pesquisa, como a Embrapa Florestas. Possui, ainda, um Plano Nacional de Florestas Plantadas.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SILVICULTURA DE NATIVAS APLICADAS À RESTAURAÇÃO (AFOLU/OUTROS USOS DA TERRA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	1
	Tecnologias silviculturais atuais são majoritariamente voltadas para monoculturas exóticas (silvicultura tradicional). Faz-se necessário avançar significativamente no conhecimento científico e tecnológico para espécies nativas visando equilibrar a produção madeireira e a restauração ecológica.	
	Potencial de mitigação	5
	Relevante potencial de mitigação em função da ampliação dos estoques de carbono e restabelecimento de serviços ecossistêmicos. Espera-se maior aumento dos estoques de carbono no solo em comparação com plantios tradicionais de espécies exóticas.	
	Custo de mitigação	5
	A tecnologia apresenta custo marginal de abatimento significativamente negativo.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	5
Plantios de nativas favorecem o aumento da biodiversidade e a resiliência climática em comparação com monocultivos de espécies exóticas.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	5
	Plantios de nativas têm grande potencial para restauração de serviços ecossistêmicos, incluindo a redução da poluição e benefícios para a saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	5
	Plantios de nativas têm grande potencial para restauração de serviços ecossistêmicos, incluindo impactos positivos na disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	Plantios de nativas têm potencial para restauração de serviços ecossistêmicos e produção de alimentos (isto é, inclusão de espécies frutíferas).	
	Impacto na biodiversidade	5
Plantios de nativas têm grande potencial para restauração de serviços ecossistêmicos e proteção da biodiversidade (isto é, restabelecimento de espécies nativas em extinção).		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	Espera-se que a produção de madeira concentre-se em madeiras mais nobres e outros usos não energéticos. Logo, a tecnologia é considerada neutra neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	5
	Plantios de nativas apresentam grande potencial para geração de emprego e renda, principalmente pela contratação de mão de obra local.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
O país encontra-se em posição privilegiada por possuir a maior biodiversidade florística do mundo (espécies nativas) e tecnologias silviculturais bem desenvolvidas para espécies exóticas.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	Alta sinergia com o Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia, que prevê investimentos em tecnologias de restauração florestal e geradoras de biomassa, respectivamente (2).	
	Sinergias com a NDC	5
	A NDC prevê explicitamente a expansão de florestas plantadas para múltiplos usos, o que torna a tecnologia fundamental para o aprimoramento dos arranjos silviculturais e aumento da produtividade.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A tecnologia possui grande sinergia com o eixo estratégico I (Agricultura e Florestas), que trata do "manejo sustentável dos ativos florestais, economia florestal e acesso a mercado" (4).	
	Arcabouço institucional	4
O Brasil conta com instituições de referência em pesquisa, como a Embrapa Florestas. Possui, ainda, um Plano Nacional de Florestas Plantadas.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
CONSERVAÇÃO E MELHORAMENTO GENÉTICO DE NATIVAS (AFOLU/OUTROS USOS DA TERRA)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	1
	O paradigma atual está voltado para monoculturas exóticas. É necessário avançar significativamente no conhecimento relacionado à ecologia de espécies nativas, à genética de populações, à fenologia do florescimento e à frutificação e à produção florestal.	
	Potencial de mitigação	4
	Relevante potencial de mitigação em função do aumento esperado de produtividade florestal, redução de fertilizantes e restabelecimento de serviços ecossistêmicos por meio de plantios de espécies nativas.	
	Custo de mitigação	4
	A expansão de florestas plantadas apresenta custo marginal de abatimento negativo e pode impulsionar investimentos para desenvolvimento do melhoramento genético de nativas.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	5
	Grande potencial para fomentar silvicultura de nativas e plantios mistos, ampliando o conjunto de espécies e arranjos silviculturais biodiversos.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Relevante potencial para fomentar o estabelecimento de plantios de espécies nativas para restauração de serviços ecossistêmicos, incluindo a redução da poluição e benefícios para a saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	Relevante potencial para fomentar o estabelecimento de plantios de espécies nativas para restauração de serviços ecossistêmicos, incluindo impactos positivos na disponibilidade de água (principalmente no médio e no longo prazos).	
	Impacto na produção de alimentos	4
	Potencial de utilização da conservação e melhoramento genético para fins de estabelecimento de arranjos silviculturais mistos visando à produção madeireira e de alimentos (exemplo: inclusão de espécies frutíferas).	
	Impacto na biodiversidade	5
	A conservação do <i>pool</i> genético de espécies nativas, principalmente de espécies em extinção, tem grande potencial para proteção da biodiversidade. O melhoramento genético tem grande potencial para viabilizar o estabelecimento de arranjos silviculturais mistos e baseados em espécies nativas.	
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	Espera-se que a exploração de espécies madeireiras concentre-se em madeiras mais nobres e outros usos não energéticos. Logo, a tecnologia é considerada neutra neste indicador.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	Demanda mão de obra qualificada, mas tende a otimizar processos em detrimento de trabalho operacional humano. Logo, a tecnologia é considerada neutra neste indicador.	
	Vantagens competitivas do Brasil	5
	O país encontra-se em posição privilegiada por ser referência internacional na área de melhoramento genético de espécies madeireiras.	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	Alta sinergia com o Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação em Biomas, que prevê investimentos em tecnologias de restauração florestal (2).	
	Sinergias com a NDC	4
	A NDC prevê como meta restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas para múltiplos usos, o que posiciona estrategicamente a tecnologia para alavancar o aproveitamento do grande potencial de espécies nativas no Brasil.	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A tecnologia possui grande sinergia com o eixo estratégico I (Agricultura e Florestas), que trata do “manejo sustentável dos ativos florestais, economia florestal e acesso a mercado” (4).	
	Arcabouço institucional	4
O Brasil conta com instituições de referência e pesquisa, como a Embrapa Florestas. Possui, ainda, um Plano Nacional de Florestas Plantadas.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
MONITORAMENTO POR SATÉLITE (AFOLU/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	O Brasil já conta com sistemas robustos para detecção do desmatamento na Amazônia e no Cerrado. É necessário, porém, avançar no monitoramento do desmatamento em outros biomas e no monitoramento da restauração da vegetação nativa com base em imagens de alta resolução e novas técnicas de classificação de uso e cobertura da terra.	
	Potencial de mitigação	5
	Relevante potencial de mitigação em razão do maior controle do desmatamento e incentivos à restauração.	
	Custo de mitigação	4
	O custo de desenvolvimento desses sistemas é relativamente baixo, tendo em vista a área de cobertura em escala nacional.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Contribui para controle do desmatamento e aumento dos esforços de restauração, apresentando relevante potencial para redução da poluição e geração de benefícios para a saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	5
	Contribui para controle do desmatamento e aumento dos esforços de restauração, apresentando relevante impacto na disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	Contribui para controle do desmatamento e aumento dos esforços de restauração, apresentando relevante impacto na produção de alimentos por meio da proteção de serviços ecossistêmicos, como a polinização e a manutenção do regime hídrico para as lavouras.	
	Impacto na biodiversidade	5
Maior controle do desmatamento tem grande impacto na proteção da biodiversidade.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	Contribui para controle do desmatamento e aumento dos esforços de restauração, apresentando relevante impacto da disponibilidade de eletricidade por meio da maior proteção aos recursos hídricos utilizados pelas usinas hidrelétricas.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	2
	Sistemas de monitoramento em larga escala tendem a privilegiar mão de obra altamente qualificada e processos automatizados em detrimento de trabalho operacional humano.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
Investimentos na área de monitoramento por satélite irão contribuir para a manutenção da liderança do Brasil nesse setor tecnológico, além de permitirem um melhor planejamento territorial.		

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	O desenvolvimento de aplicações que exploram as tecnologias e os dados espaciais nas áreas de observação da Terra é contemplado pela ENCTI 2016-2022 (2).	
	Sinergias com a NDC	5
	A expansão dos sistemas de monitoramento do desmatamento para todo território nacional e a criação de um sistema de monitoramento de alta resolução para restauração são necessárias para alcançar o desmatamento ilegal zero e restaurar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, meta prevista pela NDC (3).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A tecnologia possui grande sinergia com o eixo estratégico I (Agricultura e Florestas), que trata do "manejo sustentável dos ativos florestais, economia florestal e acesso a mercado" (4).	
	Arcabouço institucional	5
	O investimento na expansão e na melhoria dos sistemas de monitoramento está alinhado com os objetivos da PNMC, do Código Florestal e dos planos federais e estaduais de prevenção e controle do desmatamento.	

continua

continuação

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SISTEMAS DE VALIDAÇÃO DO CADASTRO AMBIENTAL RURAL (AFOLU/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	2
	Necessário avançar, relevantemente, na concepção e no uso de sistemas computacionais para processamento de <i>big data</i> , incluindo a análise de dados fundiários, hidrológicos e de uso e cobertura da terra.	
	Potencial de mitigação	4
	Um sistema robusto e ágil na validação e na publicização de dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) tem potencial para contribuir com o controle do desmatamento e a restauração florestal.	
	Custo de mitigação	4
	O custo de desenvolvimento desses sistemas é relativamente baixo, tendo em vista a sua importância para a implementação do Código Florestal.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	Relevante potencial para controle do desmatamento e incentivo a práticas agrícolas de baixo carbono, o que favorece a redução da poluição e gera benefícios para a saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	Relevante potencial para controle do desmatamento e incentivo a práticas agrícolas de baixo carbono, o que favorece a disponibilidade de água.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	Relevante potencial para controle do desmatamento e incentivo a práticas mais sustentáveis, o que favorece a produção de alimentos.	
	Impacto na biodiversidade	4
Relevante potencial para controle do desmatamento e incentivo a práticas agrícolas de baixo carbono, o que favorece a proteção da biodiversidade.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	4
	A tecnologia possui relevante potencial para controle do desmatamento e incentivo a práticas de baixo carbono, o que favorece a proteção dos corpos hídricos.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
Brasil conta com sistemas de monitoramento que podem ser aprimorados, e instituições de pesquisa na área de sensoriamento remoto reconhecidas internacionalmente.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	O desenvolvimento de aplicações que exploram as tecnologias e os dados espaciais nas áreas de observação da Terra é contemplado pela ENCTI 2016-2022 (2).	
	Sinergias com a NDC	5
	A validação do CAR é necessária para implementar o Código Florestal, e, desse modo, alcançar o desmatamento ilegal zero e restaurar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, meta prevista pela NDC (3).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A tecnologia possui grande sinergia com o eixo estratégico I (Agricultura e Florestas), que trata do "manejo sustentável dos ativos florestais, economia florestal e acesso a mercado" (4).	
	Arcabouço institucional	4
A validação do CAR é uma das etapas obrigatórias para a implementação do Código Florestal pelos órgãos estaduais de meio ambiente em articulação com o governo federal. Portanto, avaliou-se este indicador como relevante.		

continua

MACROCRITÉRIO	INDICADOR	NOTA
SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO DE CADEIAS LIVRES DE DESMATAMENTO (AFOLU/TRANSVERSAL)		
Tecnológico	Prontidão tecnológica	3
	O país conta com sistemas de certificação eficientes para alguns produtos como a madeira. No entanto, precisa avançar em sistemas de certificação de outros produtos agropecuários mais complexos (isto é, carne bovina).	
	Potencial de mitigação	5
	Certificação de cadeias produtivas com grande impacto no desmatamento e na degradação florestal apresentam grande potencial de mitigação em razão da pressão dos consumidores nacionais e internacionais.	
	Custo de mitigação	4
	O custo de desenvolvimento desses sistemas é relativamente baixo, tendo em vista a sua importância para a redução do desmatamento e das emissões de GEE.	
	Vulnerabilidade a mudanças do clima	3
A tecnologia é considerada neutra neste critério.		
Físico	Redução da poluição e benefícios para a saúde	4
	A certificação de cadeias produtivas pressiona os produtores a buscarem e implementaram práticas com menor impacto ambiental, que trazem sinergia relevante em termos de redução da poluição e melhoria da saúde.	
	Impacto na disponibilidade de água	4
	A certificação de cadeias produtivas pressiona os produtores a buscarem e implementaram práticas com menor impacto sobre recursos hídricos.	
	Impacto na produção de alimentos	4
	A certificação de cadeias produtivas pressiona os produtores a buscarem e implementaram práticas de intensificação agropecuária, com maior produção de carne.	
	Impacto na biodiversidade	4
Certificação de cadeias produtivas possui relevante impacto na redução do desmatamento e da degradação florestal.		
Socioeconômico	Impacto na disponibilidade de energia	3
	A tecnologia é considerada neutra neste critério.	
	Geração de emprego e renda e redução da desigualdade social	4
	A certificação de cadeias produtivas apresenta potencial relevante para contratação e treinamento de mão de obra local.	
	Vantagens competitivas do Brasil	4
O Brasil possui experiência relevante na certificação de madeira e outros produtos florestais.		
Institucional	Sinergias com a ENCTI 2016-2022	5
	O desenvolvimento de aplicações que exploram as tecnologias e os dados espaciais nas áreas de observação da Terra é contemplado pela ENCTI 2016-2022 (2).	
	Sinergias com a NDC	5
	A certificação das cadeias produtivas como livres de desmatamento contribui para alcançar a meta de desmatamento ilegal até 2030, prevista pela NDC (3).	
	Sinergias com o Programa País para o GCF	5
	A tecnologia possui grande sinergia com o eixo estratégico I (Agricultura e Florestas), que trata do "manejo sustentável dos ativos florestais, economia florestal e acesso a mercado" (4).	
	Arcabouço institucional	2
O desenvolvimento de um sistema de certificação está alinhado aos objetivos da PNMC e ao Código Florestal. Porém, atualmente, a legislação não é clara sobre a possibilidade de disponibilizar, de forma transparente, os dados de rastreabilidade agropecuária com fins fitossanitários também para finalidades ambientais.		

Elaboração do autor a partir de lista de referências disponível neste [link](#).

APÊNDICE IV – BARREIRAS AO DESENVOLVIMENTO E/OU DIFUSÃO DAS TECNOLOGIAS PRÉ-SELECIONADAS

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
LEITO FLUIDIZADO AVANÇADO	
Industrial (Cimento)	<ul style="list-style-type: none"> Baixo conteúdo local da tecnologia; Alto custo de capital; Baixo nível de maturidade tecnológica; Rigidez e conservadorismo do setor de construção; Desconhecimento dos benefícios da tecnologia.
CIMENTO GEOPOLIMÉRICO	
Industrial (Cimento)	<ul style="list-style-type: none"> Baixo conteúdo local da tecnologia; Alto custo de capital; Baixo nível de maturidade tecnológica; Desconhecimento dos benefícios da tecnologia; Rigidez e conservadorismo do setor de construção; Ausência de especificações para uso do material na produção de cimento.
MATERIAIS INOVADORES PARA CIMENTO	
Industrial (Cimento)	<ul style="list-style-type: none"> Baixa reatividade das adições; Ausência de especificações para o concreto; Desconhecimento da disponibilidade de materiais cimentícios suplementares; Baixa qualificação dos autoconstrutores; Rigidez e conservadorismo do setor de construção.
PLANTAS HÍBRIDAS SOLARES	
Industrial (Cimento)	<ul style="list-style-type: none"> Alto custo de capital; Baixo nível de maturidade tecnológica; Desconhecimento dos benefícios da tecnologia; Rigidez e conservadorismo do setor de construção; Falta de experiência na operação da tecnologia como fonte de energia para o interior do forno de calcinação.
CAPTURA DE CO₂	
Industrial (Cimento)	<ul style="list-style-type: none"> Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; Alto custo de capital e de operação e manutenção da tecnologia de captura; Competição com investimentos alternativos; Baixo conteúdo local da tecnologia; Rigidez e conservadorismo do setor de construção; Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte do CO₂ capturado; Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais; Grande penalidade energética, implicando altos custos energéticos associados.

continua

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
SISTEMAS DE ENRIQUECIMENTO COM OXIGÊNIO	
Industrial (Cimento)	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo de capital e de operação e manutenção da tecnologia de captura; • Competição com investimentos alternativos; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia; • Rigidez e conservadorismo do setor de construção; • Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais.
CHEMICAL LOOPING	
Industrial (Cimento)	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo de capital e de operação e manutenção da tecnologia de captura; • Competição com investimentos alternativos; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia; • Rigidez e conservadorismo do setor de construção; • Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais.
EMPREGO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS	
Industrial (Químico)	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de importação de componentes perante a falta de conteúdo local das tecnologias; • Restrição à instalação em face ao <i>layout</i> da planta; • Baixo nível de prontidão tecnológica; • Incapacidade de custeio de pesquisa e desenvolvimento com capital próprio; • Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias; • Falta de confiança pelos investidores na economicidade da tecnologia.
CRAQUEAMENTO CATALÍTICO DA NAFTA	
Industrial (Químico)	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de importação de componentes perante a falta de conteúdo local das tecnologias; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, em face da baixa penetração da rota no setor químico mundial; • Restrição à instalação em virtude do <i>layout</i> da planta; • Falta de confiança pelos investidores na economicidade da tecnologia; • Ausência de licenciadoras da tecnologia no Brasil.
USO DE BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE OLEFINAS	
Industrial (Químico)	<ul style="list-style-type: none"> • Restrição à instalação em virtude do <i>layout</i> da planta; • Indisponibilidade de matéria-prima na escala requerida; • Penalidade energética frente às rotas de craqueamento; • Competição com o uso de etanol no setor de transportes, em caso do uso da rota de desidratação catalítica do etanol; • Baixa penetração de tecnologia em âmbito nacional; • Ausência de mecanismos de valoração das vantagens ambientais da tecnologia para viabilizar sua competição com a petroquímica.
USO DE H₂ OBTIDO A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE AMÔNIA E METANOL	
Industrial (Químico)	<ul style="list-style-type: none"> • Restrição à instalação em virtude do <i>layout</i> da planta; • Baixa penetração do uso da rota em âmbito nacional; • Falta de cadeia de fornecedores de equipamentos para eletrólise da água; • Penalidade energética e maior custo de produção perante a rota convencional (reforma a vapor do gás natural); • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
CAPTURA DE CARBONO NA PRODUÇÃO DE AMÔNIA	
Industrial (Químico)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Alto custo de capital e de operação e manutenção da tecnologia de captura; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Competição com investimentos alternativos; • Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte do CO₂ capturado; • Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais; • Grande penalidade energética, implicando altos custos energéticos associados.
REFORMA DOS GASES DE COQUERIA	
Industrial (Siderurgia)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Alto custo de capital; • Competição com investimentos alternativos; • Baixo nível de maturidade tecnológica; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, em face da ausência de aplicação em âmbito nacional.
RECUPERAÇÃO DE CALOR RESIDUAL DO FORNO ELÉTRICO A ARCO COM O USO DE CICLO RANKINE ORGÂNICO	
Industrial (Siderurgia)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Competição com investimentos alternativos; • Alto custo de capital; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, em face da ausência de aplicação em âmbito nacional.
APLICAÇÃO DO PROCESSO SIDERWIN	
Industrial (Siderurgia)	<ul style="list-style-type: none"> • Competição com investimentos alternativos; • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Baixo nível de maturidade tecnológica; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, em face da ausência de aplicação em nível experimental no país.
APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DRYING, PYROLUSIS AND COOLING (DPC) NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL	
Industrial (Siderurgia)	<ul style="list-style-type: none"> • Competição com investimentos alternativos; • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, em face da ausência de aplicação em nível experimental no país; • Desconhecimento dos investidores sobre danos ambientais dos fornos tradicionais e desconfiança sobre a economicidade da tecnologia.
APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA ONDATEC NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL	
Industrial (Siderurgia)	<ul style="list-style-type: none"> • Competição com investimentos alternativos; • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, em face da ausência de aplicação em nível experimental no país; • Desconhecimento dos investidores sobre danos ambientais dos fornos tradicionais e desconfiança sobre a economicidade da tecnologia.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
COLETA E REFORMA DE GÁS DE ALTO-FORNO PELO PROCESSO IGAR	
Industrial (Siderurgia)	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo de capital; • Competição com investimentos alternativos; • Baixo nível de maturidade tecnológica; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, em face da ausência de aplicação experimental em âmbito mundial.
APLICAÇÃO DO PROCESSO HISARNA NA ROTA DE FUSÃO REDUTORA	
Industrial (Siderurgia)	<ul style="list-style-type: none"> • Competição com investimentos alternativos; • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Baixo nível de maturidade tecnológica; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, em face da ausência de aplicação em nível experimental no país.
INDÚSTRIA 4.0	
Indústria (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Limitada infraestrutura de banda larga e rede móvel; • Ausência de integração digital das empresas ao longo das cadeias produtivas; • Conceito pouco difundido; • Baixo conteúdo local das tecnologias; • Força de trabalho insuficiente; • Incerteza acerca do retorno de investimento; • Regulação defasada em termos de cibersegurança e padrões de interoperabilidade.
USO DE FONTES RENOVÁVEIS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS	
Indústria (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza financeira associada à intermitência das fontes renováveis; • Necessidade de suprimento em larga escala e dificuldade de armazenamento da energia gerada por fontes renováveis; • Ausência de infraestrutura para conexão à rede.
TRANSPORTE DE CO₂	
Indústria (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia de captura de carbono em larga escala; • Alto custo de capital da instalação de carodutos; • Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte do CO₂ capturado; • Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais; • Ausência de mecanismos de valorização da mitigação de emissões de GEE.
ARMAZENAMENTO DE CO₂	
Indústria (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia de captura de carbono em larga escala; • Alto custo de capital da instalação de carodutos; • Inexistência de arcabouço regulatório para o armazenamento do CO₂; • Ausência de mecanismos de valorização da mitigação de emissões de GEE.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
IMPLEMENTAÇÃO DE PILOTO DE FLARE	
Energia (Exploração e produção de óleo e gás)	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistência de limites de emissões para plataformas; • Segurança e confiabilidade nos sistemas de piloto de ignição em <i>flare</i>; • Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia.
INSTALAÇÃO DE UNIDADES DE RECUPERAÇÃO DE VAPOR EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO	
Energia (Exploração e produção de óleo e gás)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Lock-in</i> associado à inexistência de espaço nas plataformas; • Inexistência de limites de emissões para plataformas; • Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia.
ROTA GAS-TO-LIQUIDS (GTL)	
Energia (Exploração e produção de óleo e gás)	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de viabilidade econômica; • Competição com investimentos alternativos; • Inexistência de limites de emissões para plataformas e seus equipamentos; • Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação; • Necessidade de desenvolvimento de nanomateriais catalíticos resistentes à rápida acumulação de carbono (coque).
CAPTURA DE CO₂ NA PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS NATURAL	
Energia (Exploração e produção de óleo e gás)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Alto custo de capital e de operação e manutenção da tecnologia de captura; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Competição com investimentos alternativos; • Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte do CO₂ capturado; • Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais; • Grande penalidade energética, implicando altos custos energéticos associados.
CAPTURA DE CO₂ EM UNIDADES DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO FLUIDO	
Energia (Refino de petróleo)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Alto custo de capital e de operação e manutenção da tecnologia de captura; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Competição com investimentos alternativos; • Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte do CO₂ capturado; • Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais; • Grande penalidade energética, implicando altos custos energéticos associados; • Capacidade dos fornos e outros equipamentos de suportar as elevadas temperaturas inerentes à queima com oxigênio concentrado.
CAPTURA DE CO₂ EM UNIDADES DE GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO	
Energia (Refino de petróleo)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Alto custo de capital e de operação e manutenção da tecnologia de captura; • Competição com investimentos alternativos; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte do CO₂ capturado; • Inexistência de carbidutos para o transporte do CO₂ capturado; • Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais; • Grande penalidade energética, implicando altos custos energéticos associados.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
TURBINAS HIDROcinÉTICAS	
Energia (Elétrico)	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de viabilidade econômica; • Competição com investimentos alternativos; • Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia; • Falta de conteúdo local da tecnologia; • Inexistência de limites de emissões para o setor elétrico; • <i>Lock-in</i> tecnológico e restrições à instalação pelo <i>layout</i> da usina hidrelétrica; • Restrições à instalação pela velocidade dos rios.
USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS	
Energia (Elétrico)	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de viabilidade econômica; • Competição com investimentos alternativos; • Desincentivo econômico em face da remuneração de UHE pela garantia física; • Elevação do custo de geração em face da duplicidade operação (geração de energia com turbinamento da água do reservatório elevado e acumulação de energia); • Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Impacto econômico, social e ambiental da construção de reservatório de água; • Inexistência de distinção de remuneração para UHE que produzem na ponta; • Inexistência de limites de emissões para o setor elétrico; • <i>Lock-in</i> tecnológico e restrições à instalação pelo <i>layout</i> da usina hidrelétrica; • Restrições à instalação pela velocidade dos rios.
REPOTENCIAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS	
Energia (Elétrico)	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação da potência aumenta encargos setoriais – montante de utilização do sistema de transmissão (Must); • Competição com investimentos alternativos; • Ausência de viabilidade econômica; • Falta de conhecimento sobre custos e vantagens da aplicação da tecnologia; • Inexistência de limites de emissões para o setor elétrico; • Usinas são remuneradas pela garantia física, que não necessariamente aumenta com a repotenciação; • <i>Lock-in</i> tecnológico e as restrições à instalação pelo <i>layout</i> das usinas hidrelétricas.
ENERGIA EÓLICA OFFSHORE	
Energia (Elétrico)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, tendo em vista a inexistência de empreendimentos operando nacionalmente; • Alto custo de capital, operação e manutenção; • Inexistência de infraestrutura para transmissão da energia; • Inexistência de arcabouço regulatório para contratação da energia e operação do sistema; • Ausência de viabilidade econômica; • Carência de mão de obra para instalação e manutenção das torres eólicas <i>offshore</i>.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
CICLO COMBINADO COM GASEIFICAÇÃO INTEGRADA DE BIOMASSA EM TERMELÉTRICAS	
Energia (Elétrico)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, tendo em vista a inexistência de empreendimentos operando em escala comercial; • Alto custo de capital, operação e manutenção; • Redução no desempenho da turbina a gás frente à necessidade de adaptação para o processamento do gás de síntese; • Ausência de viabilidade econômica; • <i>Lock-in</i> tecnológico e as restrições à instalação pelo <i>layout</i> das usinas térmicas; • Dificuldade na limpeza do gás síntese gerado.
ENERGIA SOLAR TÉRMICA (CSP)	
Energia (Elétrico)	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistência de redes de transmissão em áreas com alto potencial de aproveitamento do recurso solar; • Inexistência de fornecedores locais de componentes específicos e alto custo de importação de componentes; • Altos custos de investimento e alto custo nivelado da energia gerada; • No caso da hibridização via gaseificação, o processo ainda possui baixo nível de maturidade tecnológica; • Baixa competitividade perante a geração elétrica convencional; • Ausência de mão de obra para instalação e operação das plantas.
SOLAR FOTOVOLTAICA FLUTUANTE	
Energia (Elétrico)	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistência de um inventário de potencial da fonte; • Desconhecimento dos impactos ambientais dos projetos; • Dificuldade de ancoragem em grandes reservatórios e/ou com grande variação no nível d'água; • Baixo nível de maturidade tecnológica dos inversores flutuantes em grandes reservatórios; • Elevados custos de capital; • Desconhecimento da tecnologia e de seus benefícios.
CAPTURA DE CO₂ EM TERMELÉTRICAS A GÁS NATURAL	
Energia (Elétrico)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Alto custo de capital e de operação e manutenção da tecnologia de captura; • Competição com investimentos alternativos; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte do CO₂ capturado; • Inexistência de carodutos para o transporte do CO₂ capturado; • Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais; • Grande penalidade energética, implicando altos custos energéticos associados.
CAPTURA DE CO₂ EM TERMELÉTRICAS A CARVÃO	
Energia (Elétrico)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza acerca da aplicação da tecnologia em larga escala; • Alto custo de capital e de operação e manutenção da tecnologia de captura; • Competição com investimentos alternativos; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Inexistência de arcabouço regulatório para o transporte do CO₂ capturado; • Inexistência de carodutos para o transporte do CO₂ capturado; • Aplicabilidade de equipamentos, considerando a configuração das plantas industriais; • Grande penalidade energética, implicando altos custos energéticos associados.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO	
Energia (Biocombustíveis)	<ul style="list-style-type: none"> • Risco de corrosão de componentes do motor, em função da utilização de ácidos fortes (rota de hidrólise ácida); • Penalidade energética em face da necessidade de recuperação do ácido utilizado; • Geração de subprodutos de reação indesejáveis, que podem inibir o metabolismo das leveduras na etapa de fermentação; • Baixo nível de maturidade do desenvolvimento de enzimas e alto custo de produção (rota de hidrólise enzimática); • Baixo nível de investimento em pesquisa e desenvolvimento; • Estágio de demonstração tecnológica das rotas, ainda com falta competitividade perante o etanol produzido a partir de cana e milho.
DIESEL BIOCMBUSTÍVEL	
Energia (Biocombustíveis)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de prontidão tecnológica, independentemente da rota de produção considerada; • Baixo nível de investimento em pesquisa e desenvolvimento; • Alta viscosidade, acidez e alto conteúdo de compostos oxigenados, que podem ocasionar corrosão dos equipamentos (rota de pirólise); • Risco de envenenamento dos catalisadores na etapa de síntese (rota de gaseificação); • Falta de competitividade perante o <i>diesel</i> mineral.
BIOJET (BIOCMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO)	
Energia (Biocombustíveis)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de prontidão tecnológica, independentemente da rota de produção considerada; • Baixo nível de investimento em pesquisa e desenvolvimento; • Falta de competitividade perante querosene de aviação (QAV); • Alta viscosidade, acidez e alto conteúdo de compostos oxigenados, que podem ocasionar corrosão dos equipamentos (rota de pirólise); • Risco de envenenamento dos catalisadores na etapa de síntese (rota de gaseificação); • <i>Lock-in</i> relacionado a dificuldades de integração da rota <i>alcohol-to-jet</i> (ATJ) à estrutura de destilarias de etanol; • Competição de uso do etanol com o setor automobilístico rodoviário.
BIOBUNKER PARA NAVEGAÇÃO	
Energia (Biocombustíveis)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de prontidão tecnológica, independentemente da rota de produção considerada; • Baixo nível de investimento em pesquisa e desenvolvimento; • Alta viscosidade, acidez e alto conteúdo de compostos oxigenados, que podem ocasionar corrosão dos equipamentos (rota de pirólise); • Risco de envenenamento dos catalisadores na etapa de síntese (rota de gaseificação); • Falta de competitividade perante o <i>bunker</i> de navegação.
COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS	
Transportes (Rodoviário)	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de normas e regulação para uso e larga escala da tecnologia; • Dificuldade associada à mudança comportamental para compartilhamento do serviço de mobilidade; • Uso inadequado dos veículos em face da inexistência da propriedade sobre o bem; • Fase de testes, com potenciais riscos à segurança, para compartilhamento de veículos autônomos automatizados e conectados.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
NAVEGAÇÃO DE CABOTAGEM A GÁS NATURAL	
Transportes (Hidroviário)	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de desenvolvimento da infraestrutura de apoio (abastecimento); • Baixo nível de maturidade tecnológica de motorização e tancagem do gás nas embarcações; • Alto custo de desenvolvimento do sistema de abastecimento de GNL às embarcações; • Competição pelo uso do gás natural com os setores industrial e energético.
SUBSTITUIÇÃO POR NOVOS MATERIAIS MAIS LEVES EM VEÍCULOS	
Transportes (Rodoviário)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de maturidade de materiais leves para aplicação em veículos; • Alto custo de desenvolvimento dos materiais leves, com potencial impacto sobre o preço dos veículos; • Aplicabilidade dos materiais em conformidade com requisitos de segurança veicular; • Competição com investimentos alternativos pelas montadoras de veículos.
MOTORES COM TURBOCOMPOUND ELÉTRICO	
Transportes (Rodoviário)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Alto custo da tecnologia, com grande impacto sobre o preço final do veículo; • Aumento do peso e tamanho dos veículos; • Competição com investimentos alternativos pelas montadoras de veículos.
SISTEMA INTELIGENTE DE COMBOIO	
Transportes (Rodoviário)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa penetrabilidade da tecnologia, em face da aplicação exclusiva para veículos pesados; • Resistência à mudança na forma de condução dos veículos; • Inexistência de testes da aplicação da tecnologia em âmbito mundial; • Necessidade de adequar o arcabouço regulatório para considerar novo padrão de distanciamento na condução de veículos.
VEÍCULOS HÍBRIDOS FLEX	
Transportes (Rodoviário)	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistência de padrões tecnológicos; • Baixo conteúdo local dos componentes veiculares; • Elevado custo ao consumidor final; • Inexistência de marco legal e linhas de financiamento específicas para veículos elétricos; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia.
ELETRIFICAÇÃO PARCIAL OU TOTAL DE TRENS	
Transportes (Ferroviário)	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo associado à disponibilização de infraestrutura de apoio (malha de trilhos); • <i>Lock-in</i> tecnológico perante a infraestrutura de trens movidos a <i>diesel</i>; • Baixo conteúdo local dos componentes de eletrificação e hibridização de trens; • Falta de consenso na tecnologia dominante de conversão energética; • Inexistência de padrões tecnológicos.
SISTEMAS DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA DE TRENS	
Transportes (Ferroviário)	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo associado à disponibilização de infraestrutura de apoio (malha de trilhos); • Alto custo do trem de levitação magnética; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Baixo nível de prontidão tecnológica em âmbito mundial, com aplicações somente em linhas de curta extensão; • Baixo nível de investimento em pesquisa e desenvolvimento para o desenvolvimento de tecnologia nacional.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
ELETRIFICAÇÃO PARCIAL OU TOTAL COM USO DE ENERGIA RENOVÁVEL EM EMBARCAÇÕES	
Transportes (Hidroviário)	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo associado à disponibilização de infraestrutura de apoio (abastecimento); • Baixa autonomia das embarcações; • Baixo conteúdo local das baterias; • Inexistência de aplicações em nível nacional; • Falta de consenso na tecnologia dominante de conversão energética.
MELHORIAS NA AERODINÂMICA DE AERONAVES	
Transportes (Aéreo)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de prontidão das tecnologias (estágio de desenvolvimento de protótipos); • Baixo conteúdo local tecnológico; • Alto custo para o desenvolvimento das tecnologias; • Baixo nível de pesquisa e desenvolvimento em âmbito nacional.
ELETRIFICAÇÃO COM USO DE ENERGIA RENOVÁVEL EM AERONAVES	
Transportes (Aéreo)	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo associado à disponibilização de infraestrutura de apoio (abastecimento); • Baixo conteúdo local dos sistemas elétricos e baterias; • Inexistência de aplicações em nível nacional; • Falta de consenso na tecnologia dominante de conversão energética.
VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS <i>PLUG-IN</i>	
Transportes (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de consenso na tecnologia dominante de conversão energética; • Inexistência de padrões tecnológicos; • Inexistência de infraestrutura de apoio para abastecimento dos veículos; • Falta de conteúdo local da cadeia produtiva dos veículos e componentes; • Baixo nível de desenvolvimento tecnológico; • Elevado preço final ao consumidor.
VEÍCULOS LEVES ELÉTRICOS A BATERIA	
Transportes (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de consenso na tecnologia dominante de conversão energética; • Inexistência de padrões tecnológicos; • Inexistência de infraestrutura de apoio para abastecimento dos veículos; • Falta de conteúdo local da cadeia produtiva dos veículos e componentes; • Baixo nível de desenvolvimento tecnológico; • Elevado preço final ao consumidor.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA	
Transportes (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de consenso na tecnologia dominante de conversão energética; • Inexistência de infraestrutura de apoio para abastecimento dos veículos; • Diminuição da autonomia dos veículos; • Falta de conteúdo local da cadeia produtiva dos veículos e componentes; • Baixo nível de desenvolvimento tecnológico; • Alto custo para aquisição dos veículos, com potencial transmissão do sobrecusto às tarifas de transporte.
VEÍCULOS ELÉTRICOS A PILHA A COMBUSTÍVEL A HIDROGÊNIO	
Transportes (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de consenso na tecnologia dominante de conversão energética; • Inexistência de padrões tecnológicos; • Inexistência de infraestrutura de apoio para armazenamento e abastecimento dos veículos; • Falta de conteúdo local da cadeia produtiva dos veículos e componentes; • Baixo nível de desenvolvimento tecnológico; • Elevado preço final ao consumidor.
VEÍCULOS ELÉTRICOS A PILHA A COMBUSTÍVEL A ETANOL	
Transportes (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de consenso na tecnologia dominante de conversão energética; • Inexistência de padrões tecnológicos; • Falta de conteúdo local e nível de maturidade dos transistores de potência; • Baixo nível de desenvolvimento tecnológico; • Elevado preço final ao consumidor.
PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DO BIOGÁS COM MICROTURBINAS	
Resíduos (Efluentes, RSU e Agrícola)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Necessidade de dimensionamento para operação com biogás e otimização da operação para aumento da eficiência; • Assimetria de informação e/ou falta de informação dos tomadores de decisão acerca dos benefícios da tecnologia; • Elevados custos de capital, operacionais e de manutenção; • Inadequação e baixo respaldo de instrumentos regulatórios; • Baixa legitimação da prática e poucas iniciativas de sucesso no país.
BIODIGESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSUS) PARA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE E BIOMETANO	
Resíduos (RSU)	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de monitoramento dos sistemas de limpeza e tratamento do biogás e de caracterização do substrato nacional; • Baixa competitividade dos produtos gerados e desenvolvimento da cadeia de suprimentos e serviços; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Falta de arcabouço regulatório para comercialização do biometano; • Elevados custos de capital, operacionais e de manutenção; • Necessidade de incorporação dos agentes de distribuição para o aumento da utilização de biometano em frotas cativas; • Resistência por parte de diferentes agentes para uso da tecnologia.

continua

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS	
Resíduos (RSU e Agrícola)	<ul style="list-style-type: none"> • Requer especificação dos resíduos e mão de obra qualificada; • Necessidade de adaptação dos sistemas de tratamento e monitoramento de emissões; • Baixa competitividade dos produtos gerados e desenvolvimento da cadeia de suprimentos e serviços; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Elevados custos de capital, operacionais e de manutenção; • Inexistência de arranjos comerciais adequados; • Resistência por parte de diferentes agentes, devido às emissões e à necessidade de utilização de recicláveis; • Falta de boas práticas e casos de sucesso difundidos no país.
GASEIFICAÇÃO DE RSU POR PLASMA	
Resíduos (RSU)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Necessidade de especificação dos resíduos; • Tecnologia pouco desenvolvida e/ou não adaptada para aplicação; • Elevados custos de capital, operacionais e de manutenção; • Falta de casos de sucesso difundidos no país e de conhecimento do uso dos equipamentos.
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E AGROINDUSTRIAIS	
Resíduos (Agrícola)	<ul style="list-style-type: none"> • Heterogeneidade dos substratos; • Sazonalidade dos resíduos agrícolas; • Ausência de mercado para o biogás; • Ausência de mercado para o biometano no setor de transportes; • Elevados custos de capital, operacionais e de manutenção.
FOGÕES SOLARES FOTOVOLTAICOS COM INDUÇÃO	
Edificações (Residencial)	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de cadeias de valor da tecnologia; • Alto custo dos equipamentos adicionais ao fogão de indução; • Resistência à mudança nos padrões de cocção; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia; • Falta de capacitação para instalação e manutenção dos sistemas.
CENTRAIS MICROGERADORAS RENOVÁVEIS: MICROTURBINAS EÓLICAS, OPV E CÉLULAS DE FILMES FINOS	
Edificações (Residencial, Comercial e Serviços)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Baixa eficiência na conversão de energia; • Custos elevados em relação às fontes convencionais; • Competição com investimentos alternativos; • Elevado custo de capital com retorno do investimento em longo prazo; • Necessidade de regulação para os contratos de interconexão e certificação para os equipamentos; • Possível impacto na estabilidade do sistema elétrico; • Falta de mão de obra especializada para instalação e operação dos equipamentos; • Falta de informação acerca dos benefícios do sistema.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
SMART GRID	
Edificações (Residencial, Comercial e Serviços)	<ul style="list-style-type: none"> • Incertezas associadas à vida útil dos equipamentos; • Necessidade de novas abordagens tecnológicas para o processamento de dados, comunicação bidirecional e integração dos equipamentos; • Baixo conteúdo local da tecnologia; • Necessidade de desenvolvimento de diretrizes de segurança para uso da tecnologia; • Elevado custo de capital com retorno do investimento no longo prazo; • Necessidade de alterações na regulação do setor elétrico para incorporação da tecnologia; • Necessidade de padronização e certificação das tecnologias envolvidas; • Falta de boas práticas, de casos de sucesso difundidos no país e de conhecimento dos benefícios da tecnologia.
NOVOS MATERIAIS APLICADOS NOS ZERO ENERGY BUILDINGS (ZEBS)	
Edificações (Residencial, Comercial e Serviços)	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de otimizar o uso dos sistemas de automação; • Baixo conteúdo local das tecnologias; • Elevado custo de capital com retorno do investimento no longo prazo; • Necessidade de certificação de materiais e tecnologias; • Desconhecimento dos benefícios das tecnologias; • Necessidade de capacitação dos profissionais, sobretudo no setor de construção; • Falta de boas práticas e de casos de sucesso difundidos no país.
AGRICULTURA DE PRECISÃO	
Afolu (Agricultura)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa conectividade, disponibilidade de interfaces e segurança de dados; • Baixo conteúdo local das tecnologias de agricultura de precisão; • Baixa exatidão no processamento digital de imagens; • Alto custo de equipamentos com alto conteúdo tecnológico; • Ausência de regulamentação específica para incentivar a adoção da agricultura de precisão; • Ferramentas pouco práticas e intuitivas; • Falta de capacitação para operar a agricultura de precisão, em face a lacunas de assistência técnica rural.
ALTERNATIVAS DE CARBONO AO NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO (NPK)	
Afolu (Agricultura)	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos tipos de inoculantes disponíveis no mercado; • Necessidade de estudos sobre o potencial da fertilização biológica de nitrogênio para diferentes culturas condições de clima e manejo do país; • Assistência técnica rural insuficiente; • Baixo nível de prontidão tecnológica para fontes alternativas de sais de potássio e termofosfatos potássicos; • Comportamento conservador dos proprietários rurais.
MELHORAMENTO GENÉTICO AGRÍCOLA POR MEIO DA FENOTIPAGEM ROBÓTICA	
Afolu (Agricultura)	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica pouco difundida na agricultura; • Baixo conteúdo local em fenotipagem de plantas; • Baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento; • Assistência técnica rural insuficiente; • Resistência dos produtores rurais com relação a investimentos de longa duração; • Nichos de resistência cultural à produção e ao consumo de organismos geneticamente modificados; • Comportamento conservador dos proprietários rurais; • Incerteza com relação ao retorno do investimento.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
MELHORAMENTO GENÉTICO ANIMAL NA PECUÁRIA BOVINA DE CORTE	
Afolu (Pecuária)	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de padronização de procedimentos de coleta de dados; • Falta de integração e agilidade entre agentes envolvidos em programas de melhoramento genético animal; • Diferença entre os sistemas de produção; • Incerteza com relação ao retorno do investimento; • Assistência técnica rural insuficiente; • Falta de conhecimento da importância econômica das características; • Alto custo de acesso a plataformas de melhoramento genético animal.
SUPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL	
Afolu (Pecuária)	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de conhecimento para o uso da técnica; • Indisponibilidade de capital para investir na suplementação nutricional; • Assistência técnica rural insuficiente; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia; • Conservadorismo do setor; • Inexistência de logística regional para distribuição de suplementos.
SILVICULTURA DE PRECISÃO	
Afolu (Outros Usos da Terra)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de desenvolvimento tecnológico em termos de sistemas de inteligência territorial; • Baixa conectividade, disponibilidade de interfaces e segurança de dados; • Baixo conteúdo local das tecnologias de silvicultura de precisão; • Baixa exatidão no processamento digital de imagens; • Falta de conhecimento das tecnologias de inteligência territorial; • Falta de capacitação para uso das tecnologias, em face da insuficiência de assistência técnica rural.
PLANTIOS MISTOS (EXÓTICAS E NATIVAS)	
Afolu (Outros Usos da Terra)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de investimento na pesquisa de plantios mistos; • Dependência de uma grande escala para produção; • Assistência técnica rural insuficiente; • Alto custo de insumo, transporte e implantação dos sistemas mistos; • Baixa disponibilidade de mão de obra no campo.
MELHORAMENTO GENÉTICO FLORESTAL	
Afolu (Outros Usos da Terra)	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza com relação ao retorno do investimento; • Baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento; • Nível de maturidade tecnológica restrito à aplicação experimental e majoritariamente voltada a espécies exóticas; • Comportamento conservador dos proprietários rurais; • Necessidade de controle rigoroso devido à redução da variabilidade genética; • Assistência técnica rural insuficiente; • Resistência dos produtores rurais com relação a investimentos de longa duração.

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
SILVICULTURA DE NATIVAS APLICADAS À RESTAURAÇÃO	
Afolu (Outros Usos da Terra)	<ul style="list-style-type: none"> • Nível de maturidade tecnológica restrito à aplicação experimental e majoritariamente voltado a espécies exóticas; • Assistência técnica rural insuficiente; • Resistência dos produtores rurais com relação a investimentos de longa duração; • Incerteza com relação ao retorno do investimento; • Baixo nível de investimento na pesquisa em silvicultura de nativas; • Dependência de uma grande escala para produção; • Assistência técnica rural insuficiente; • Baixa disponibilidade de mão de obra no campo.
CONSERVAÇÃO E MELHORAMENTO GENÉTICO DE NATIVAS	
Afolu (Outros Usos da Terra)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de maturidade tecnológica em genética de populações, fenologia do florescimento e frutificação e produção florestal; • Assistência técnica rural insuficiente; • Baixo nível de investimento na pesquisa; • Baixo conteúdo local e alto custo de reagentes e equipamentos; • Desconhecimento dos benefícios da tecnologia, sobretudo no setor privado; • Resistência dos produtores rurais com relação a investimentos de longa duração; • Incerteza com relação ao retorno do investimento.
MONITORAMENTO POR SATÉLITE	
Afolu (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo investimento em pesquisa de base e aplicada relativa a imagens de alta resolução; • Disponibilidade restrita de imagens de alta resolução; • Baixo conteúdo local de satélites; • Assistência técnica rural insuficiente; • Falta de investimento em tecnologia nacional de satélites e metodologias de processamento de imagens; • Falta de conhecimento das tecnologias de inteligência territorial; • Falta de capacitação para uso das tecnologias.
SISTEMAS DE VALIDAÇÃO DO CADASTRO AMBIENTAL RURAL	
Afolu (Transversal)	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de desenvolvimento de <i>big data</i>, incluindo a análise de dados fundiários, hidrológicos e de uso e cobertura da terra; • Necessidade de estabelecer normas estaduais específicas para validação; • Baixo nível de investimento em tecnologias, recursos humanos e infraestrutura; • Falta de investimento em tecnologia nacional de satélites e metodologias de processamento de imagens; • Falta de conhecimento das tecnologias de inteligência territorial; • Falta de capacitação para uso das tecnologias aplicáveis à validação do Cadastro Ambiental Rural (CAR).

continuação

SETOR (SUBSETOR)	TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS BARREIRAS
SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO DE CADEIAS LIVRES DE DESMATAMENTO	
Afolu (Transversal)	<ul style="list-style-type: none">• Assistência técnica rural insuficiente;• Nível de prontidão tecnológica experimental de sistemas de certificação de produtos agropecuários;• Baixo nível de investimentos em sistemas de certificação de produtos agropecuários;• Sistemas de certificação da produção agropecuária restrito ao bioma Amazônia;• Baixo investimento em pesquisa de base e aplicada relativa a imagens de alta resolução;• Disponibilidade restrita de imagens de alta resolução ao bioma Amazônia;• Falta de investimento em tecnologia nacional de satélites e metodologias de processamento de imagens;• Falta de conhecimento das tecnologias de inteligência territorial;• Falta de capacitação para uso das tecnologias;• Dependência de sistemas de validação do CAR para certificação de cadeias livres de desmatamento na produção agropecuária.

Elaboração do autor.

