

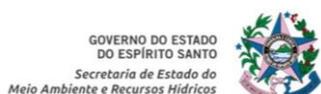
Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE do Espírito Santo

Caderno de Diagnóstico

Análise das Emissões de GEE, Vocações,
Potencialidades, Limitações e Características
Socioeconômicas do Estado

Este documento é um produto do projeto intitulado “Plano Estadual de Mudanças Climáticas – Estruturação”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo e executado por pesquisadores da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) Agência de Regulação de Serviços Públicos (ARSP) e Governo do Estado do Espírito Santo. Para mais informações, acesse: <http://impactoclima.ufes.br/NetZeroES>

Execução:



Apoio Técnico:



Financiamento:



Ficha catalográfica:

Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE do Espírito Santo – Carderno de Diagnóstico: Análise das Emissões de GEE, Vocações, Potencialidades, Limitações e Características Socioeconômicas do Estado, Relatório Técnico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2022.

146 p. il. color. Vitória, outubro de, 2022

1. Descarbonização; 2. Carbono Zero. 3. Energias Renováveis. 4. Transição energética. 5. Mudanças climáticas. 6. Desenvolvimento sustentável

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Geral

Neyval Costa Reis Júnior, PhD em Engenharia Ambiental UFES

Integração temática e Mobilização Social

Ademir Abdala Prata Junior, PhD em Engenharia Civil e Ambiental UFES

Renato Ribeiro Siman, Doutor em Hidráulica e Saneamento UFES

Luciana Harue Yamane, Doutora em Engenharia Metalúrgica UFES

Alfredo Sarlo Neto, Doutor em Ciências Contábeis UFES

Agropecuária, Florestas e Mudança do Uso do Solo

Fábio Partelli, Doutor em Produção Vegetal UFES

Mércia Regina Pereira de Figueiredo, Doutora em Nutrição Animal INCAPER

José Eduardo Pezzopane, Doutor em Ciência Florestal UFES

Daiani Bernardo Pirovani, Doutora em Produção Vegetal IFES

Gilson Fernandes da Silva, Doutor em Ciência Florestal UFES

Pedro Luis Pereira Teixeira de Carvalho, Mestre em Genética e SEAG

Melhoramento de Plantas

Energia, Indústrias e Transportes

Rodrigo de Alvarenga Rosa, Doutor em Engenharia Elétrica UFES

Gilberto De Martino Jannuzzi, PhD em Estudos de Energia UNICAMP

Jussara Farias Fardin, Doutora em Engenharia Elétrica UFES

Alexandre de Mello Delpupo, Doutor em Física ARSP-ES

José Joaquim Conceição Soares Santos, Doutor em Engenharia Mecânica UFES

Resíduos

Renato Ribeiro Siman, Doutor em Hidráulica e Saneamento UFES

Luciana Harue Yamane, Doutora em Engenharia Metalúrgica UFES

Inventário de Emissões de GEE

Elisa Valentim Goulart, PhD em Meteorologia UFES

Bruno Furieri, DSc em Engenharia Ambiental UFES

Jane Méri Santos, PhD em Engenharia Ambiental UFES

Elson Silva Galvão, Doutor em Engenharia Ambiental UFES

Planejamento Estratégico e Ligação com o Governo do Estado

Robson Monteiro dos Santos, MSc em Engenharia Ambiental SEAMA-ES

Victor Guedes Barbosa, Especialista em Engenharia de Produção FAPES

Juliana dos Reis, Engenheira Mecânica SEAMA-ES

Joseane de Fátima Geraldo Zoghbi, MSc em Administração SEP-ES

Apoio Técnico

Jaihany Vicente Gama, estagiária de Engenharia Ambiental IFES

João Pedro Leal Dias, estagiário de Engenharia Ambiental UFES

Beatriz Vescovi Cuzzuol, estagiária de Engenharia Ambiental UFES

Dianne dos Santos Silva, Engenheira de Produção UFES

GRUPO DE SUSTENTAÇÃO

- ARSP ES - Agência de Regulação de Serviços Públicos do ES
- SECTIDES - Secretaria da Ciência, Tecnologia, Inovação, Educação Profissional e Desenvolvimento Econômico do ES
- FINDES - Federação das Indústrias do Espírito Santo
- Comissão Estadual de Mudanças Climáticas



Energia &
Indústria

- FETRANSPORTES - Federação das Empresas de Transportes do Estado do ES
- Comissão Estadual de Mudanças Climáticas
- FINDES - Federação das Indústrias do Espírito Santo
- SEMOBI - Secretaria de Mobilidade e Infraestrutura do ES
- CETURB/ES - Companhia Estadual de Transportes Coletivos de Passageiros do Estado do Espírito Santo



Transportes

- AMUNES - Associação dos Municípios do Espírito Santo
- FINDES - Federação das Indústrias do Espírito Santo
- IEMA - Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
- ARSP ES - Agência de Regulação de Serviços Públicos do ES
- Comitê Gestor de Resíduos Sólidos
- Sindicato das Empresas de Reciclagem do Estado do Espírito Santo
- Sindicato Estadual das Empresas de Limpeza Urbana do ES
- CESAN - Companhia Espírito Santense de Saneamento
- Comissão Estadual de Mudanças Climáticas
- SEDURB - Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano



Resíduos

- FAES - Federação da Agricultura do Estado do Espírito Santo
- FINDES - Federação das Indústrias do Espírito Santo
- SEAG - Secretaria de Estado de Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca
- FETAES – Federação dos Trabalhadores Rurais Agricultores e Agricultoras Familiares do Estado do Espírito Santo
- SECTIDES - Secretaria da Ciência, Tecnologia, Inovação, Educação Profissional e Desenvolvimento Econômico do ES
- Comissão Estadual de Mudanças Climáticas
- SOS Mata Atlântica



AFOLU

RESUMO

O Espírito Santo aderiu oficialmente às campanhas “*Race to Zero*” (Corrida para o Zero) e “*Race to Resilience*” (Corrida para a Resiliência), da Organização das Nações Unidas (ONU), comprometendo-se com a realização de ações visando a neutralização de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) até 2050 e a resiliência climática. Como parte das ações necessárias para o cumprimento das metas acordadas pelo Estado, destaca-se a necessidade de elaboração de estratégias e ações para atingir as metas de neutralização de emissões de GEE.

A construção do Plano de Neutralização de Emissões de GEE do ES parte do princípio de que o Estado participa da transição como agente catalisador das mudanças da economia, promovendo transformações por meio da criação de mecanismos e políticas públicas que auxiliem as mudanças dos setores da economia do ES. As premissas básicas de construção do Plano incluem a indicação de estratégias econômicas/políticas para viabilizar e acelerar a descarbonização da economia, analisando a implementação de incentivos fiscais para fontes de energia mais limpas, linhas de crédito diferenciado para projetos de descarbonização, políticas de regulamentação e atração de investimentos e demais estratégias voltadas a estimular a descarbonização da economia, bem como o investimento público-privado em projetos que apoiem a transição para uma economia de baixo carbono e a valorização de políticas que fomentem a redução de emissões gerando potencial competitivo para as empresas locais.

Neste contexto, a forma de construção do PNEGEE-ES é baseada na abordagem de um Planejamento Estratégico, contemplando as etapas de **Diagnóstico** (inventário de emissões existente, vocações, potencialidades, limitações e características socioeconômicas do Estado) e **Planejamento**, definindo Diretrizes, Estratégias, Projetos e Planos de Ação para atingir a meta estratégica de neutralização de emissão de GEE do ES até 2050. Este documento apresenta os resultados da etapa de **Diagnóstico**, contendo análises do inventário de emissões existente, vocações, potencialidades, limitações e características socioeconômicas do Espírito Santo.

SUMÁRIO

Equipe técnica.....	3
Grupo de sustentação.....	4
Resumo.....	5
Abreviações e siglas.....	8
Lista de Figuras.....	12
Lista de Tabelas.....	16
1 Introdução.....	18
1.1. Ações do Espírito Santo.....	20
2 Características Socioeconômicas do Estado.....	23
2.1 Panorama Industrial.....	27
2.2 Panorama do Setor Agropecuário e Florestal.....	31
2.3 Panorama do Setor de Resíduos.....	40
2.3.1 Resíduos Sólidos.....	40
3 Análise da matriz energética.....	50
3.1 Matriz de energia elétrica.....	57
3.2 Gás natural.....	63
3.3 Transportes.....	66
3.4 Potencial de geração de energia a partir de fontes renováveis.....	71
4 Análise das emissões de GEE do ES.....	95
4.1 AFOLU.....	102
4.2 Energia.....	106
4.2.1 Transportes.....	107
4.2.2 Produção de Combustíveis.....	110
4.2.3 Indústria.....	111
4.2.4 Eletricidade.....	113
4.2.5 Residencial.....	116
4.3 Processos Industriais.....	117
4.4 Resíduos.....	120

4.5 Sumário das Emissões por Atividade Econômica	123
5 Análise SWOT pontos fortes/fracos e fatores estratégicos externos	128
Referências Bibliográficas	139

ABREVIações E SIGLAS

Relação de siglas e abreviaturas adotadas nesta publicação:

ABC	Plano de Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária do ES
ABESOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACL	Ambiente de Contratação Livre
AFOLU	Agropecuária, Florestas e Uso do Solo
AGERH	Agência Estadual de Recursos Hídricos
ALES	Assembleia Legislativa do Estado do Espírito Santo
AMUNES	Associação dos Municípios do Espírito Santo
ANAMA	Associação Nacional de Órgãos Municipais de Meio Ambiente
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APE	Autoprodutor de Energia
ARSP-ES	Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo
ASPE	Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo
BEES	Balanco Energético do Estado do Espírito Santo
BEP	<i>Brazil Energy Programme</i>
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
CAGED	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CCUS	<i>Carbon Capture, Utilization and Storage</i>
CDR	<i>Carbon dioxide removal</i>
CEDAGRO	Centro de Desenvolvimento do Agronegócio
CEMC	Comissão Estadual de Mudanças Climáticas
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento
CETURB/ES	Companhia Estadual de Transportes Coletivos de Passageiros do Estado do Espírito Santo
CGH	Central Geradora de Energia Elétrica
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CSP	<i>Concentrating Solar Power</i>
EFVM	Estrada de Ferro Vitória a Minas
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EOL	Central Geradora Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
EU	<i>European Union</i>
FAES	Federação da Agricultura e Pecuária do Estado do ES

FETAES	Federação dos Trabalhadores Rurais Agricultores e Agricultoras Familiares do Estado do Espírito Santo
FETRANSPORTES	Federação das Empresas de Transportes do Estado do Espírito Santo
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FINDES	Federação das Indústrias do Espírito Santo
GEE	Gases Causadores de Efeito Estufa
GHG	Greenhouse Gas
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNL	Gás Liquefeito Natural
GNV	Gás Natural Veicular
GPC	<i>Global Product Classification</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HVO	<i>Hydrotreated Vegetable Oil</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICLEI	<i>International Council for Local Environmental Initiatives</i>
IDAF	Instituto de Defesa Agropecuária de Florestal
IDEIES	Instituto de Desenvolvimento Educacional e Industrial do Espírito Santo
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEA	Agência Internacional de Energia
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IFES	Instituto Federal do Espírito Santo
IJSN	Instituto Jones dos Santos Neves
ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
INCAPER	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPK	Índice de Passageiro por Quilômetro
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MME	Ministério de Minas e Energia
MOU	<i>Memorandum of Understanding</i>
NBR	Norma Brasileira
NCI	Emissão/Redução Não Contabilizadas no Inventário Nacional
NDC	<i>Nationally Determined Contribution</i>
OC	Observatório do Clima
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OCMRR	Organizações de Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONS	Operador Nacional do Sistema
ONTL	Observatório Nacional de Transporte e Logística
ONU	Organização das Nações Unidas
PANCLIMA	Plano de Ação Climática do Município de São Paulo
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem

PBEV	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PCH	Pequena Central Geradora Hidrelétrica
PEDEAG	Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba
PEMC	Plano Estadual de Mudanças Climáticas
PERS-ES	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo
PGE	Procuradoria Geral do Estado
PIB	Produto Interno Bruto
PIE	Produtor Independente de Energia
PLANARES	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEF	Plano Nacional de Eficiência
PNEGEE	Plano de Neutralização de Emissões de GEE
PNLI	Plano Nacional de Logística Integrada
PNMU	Política Nacional de Mobilidade Urbana
PROCONVE	Programa Rota 2030 de Mobilidade e Logística, Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMOBE	Projeto Eficiência Energética na Mobilidade Urbana, Programa Mobilidade Elétrica e Propulsão Eficiente
PRPN	Reservas Particulares de Patrimônio Natural
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PSTM	Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima
RAA	Resíduos Agrossilvopastoris e Agroindustriais
RDO	Resíduos Domésticos
REE	Resíduos Eletroeletrônicos
REG	Registro
RENOVABIO	Política Nacional de Biocombustíveis
RLRO	Resíduos com Logística Reversa Obrigatória
RLU	Resíduos de Limpeza Urbana
RSPS	Resíduos do Serviço Públicos de Saneamento
RSS	Resíduos do Serviço de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAAE	Serviços Autônomos de Água e Esgoto
SAF	Sistema Agroflorestal
SANEAR	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento
SEAG	Secretaria de Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca do ES
SEAMA-ES	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SECTIDES	Secretaria da Ciência, Tecnologia, Inovação, Educação Profissional e Desenvolvimento Econômico
SEDURB	Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SEMOBI	Secretaria de Mobilidade e Infraestrutura
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar)
SEP-ES	Secretaria de Economia e Planejamento do Espírito Santo

SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SIGA	Sistema de Informação de Geração da Aneel
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIRENE	Sistema de Registro Nacional de Emissões
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SP	Serviços Públicos
SPIPA	<i>Strategic Partnerships for the Implementation of the Paris Agreement</i>
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats
TRANSCOL	Serviço Público de Transporte Coletivo Urbano Municipal de Passageiros de Cariacica, Serra e Viana e Intermunicipal Metropolitano de Passageiros da RMGV
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UC	Unidade de Conservação
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFV	Central Geradora Sola Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UTE	Usina Termoelétrica
VA	Valor Adicionado
VBPA	Valor Bruto da Produção Agropecuária
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
VTI	Valor de Transformação Industrial
WRI	<i>World Resources Institute</i>
ZA	Zona de Amortecimento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Projeção da poluição do Espírito Santo, 2010-2060. Fonte de dados: IBGE (2022).	24
Figura 2. Participação (%) dos setores no PIB Estadual, 2010-2019. Fonte de dados: IJSN (2021).	25
Figura 3. Participação das atividades econômicas no Valor Adicionado do Espírito Santo 2018. Fonte: IDEIES (2021).	26
Figura 4. Participação dos estabelecimentos e empregos formais no total do Espírito Santo, por setor econômico, em 2019. Fonte: IDEIES (2021).	26
Figura 5. Participação % das principais atividades industriais no VTI do Espírito Santo - 2007 e 2019. Fonte: IDEIES (2021).	27
Figura 6. Setores com as maiores quantidades de empregados formais na indústria do ES em 2019. Fonte: IDEIES (2021).	28
Figura 7. Quantidade de empregos industriais no Espírito Santo, por porte, em 2019. Fonte: IDEIES (2021).	28
Figura 8. Evolução da participação % das microrregiões na quantidade de empregos industriais do Espírito Santo. Fonte: IDEIES (2021).	29
Figura 9. Distribuição de empregos industriais por município em 2019. Fonte: IDEIES (2021).	30
Figura 10. Valor da produção do setor agropecuário no Estado do Espírito Santo nos últimos 10 anos. Subsetores: (a) Produção Animal, (b) Agricultura e (c) Silvicultura e Extração Vegetal. Fonte de dados: INCAPER (2022).	35
Figura 11. Projeção da geração das tipologias de resíduos sólidos até 2050. Fonte de dados: PERS-ES (2019).	42
Figura 12. Tipo de operador das Estações de Tratamento de Esgoto do Espírito Santo. Fonte de dados: Espírito Santo (2019).	48
Figura 13. Etapas de tratamento de esgoto presentes nas Estações de Tratamento de Esgoto do Espírito Santo. Fonte de dados: Espírito Santo (2019).	49
Figura 14. Produção de energia primária em 2020 no ES. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).	51
Figura 15. Consumo Final Energético no Espírito Santo por fonte em 2020. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).	52

Figura 16. Consumo final energético no ES por Setor da Economia e Fonte em 2020, em 1000 x GJ. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).	53
Figura 17. Participação % de cada Setor da Economia no consumo final energético de cada tipo de fonte no ES, em 2020. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).	55
Figura 18. Consumo do Setor Industrial por Ramo de Atividade em 2020. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).	56
Figura 19. Evolução da geração e do consumo de energia elétrica no ES (sem Geração Distribuída). Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).....	57
Figura 20. Evolução da capacidade instalada de geração no Espírito Santo (MW) - 2002 a 2022. UTE - Usina Termoelétrica, UHE – Usina Hidrelétrica, PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas, UFV – Usina Solar Fotovoltaica, CGH - Centrais Geradoras Hidrelétricas, EOL – Eólica por Cinética dos Ventos. Fonte: ASPE (2022b).	58
Figura 21. Evolução da frota veicular no ES com base na quantidade acumulada de veículos emplacados por ano por tipo de veículo. Fonte de dados: IBGE (2022).....	67
Figura 22. Idade média da frota no ES por categoria de idade (5, 10 e acima de 10 anos). Fonte: Adaptado de (ONTL, 2022).....	68
Figura 23. Evolução da taxa de motorização no ES. Fonte: Adaptado de (ONTL, 2022).....	69
Figura 24. Evolução comparada na taxa de motorização no Brasil. Fonte: PNE 2050 (Brasil, 2020).	70
Figura 25. Participação das fontes na capacidade instalada.....	74
Figura 26. Projeção da participação das fontes na capacidade instalada da geração centralizada no Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Fonte: EPE (2021c).....	75
Figura 27. Projeção da variação de capacidade instalada no horizonte decenal prevista no no Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, em GW por tecnologia. Fonte: EPE (2021c).	75
Figura 28. Geração total de energias renováveis incentivadas (eólica, solar, PCH e biomassa) e parcela vendida no mercado livre de energia (em MW médios). Fonte: ABRACEEL (2022).	76
Figura 29. Velocidade média anual do vento a 75 m no ES: (a) <i>onshore</i> e (b) <i>offshore</i> . Fonte: Atlas Eólico Espírito Santo (Amarante et al., 2009).	77
Figura 30. Processos de licenciamento ambiental de eólicas <i>offshore</i> abertos no Ibama até 20 de abril de 2022. Fonte de dados: GoogleEarth e IBAMA (2022)	78
Figura 31. Mapa da irradiação diária média anual no plano inclinado no Espírito Santo. Fonte: ARSP - A energia solar no Espírito Santo.....	80

Figura 32. Irradiação média no ES, no Brasil e em outras regiões do mundo. Fonte: ARSP - A energia solar no Espírito Santo	81
Figura 33. Total diário de irradiação no plano inclinado na latitude média anual no Brasil. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017).	82
Figura 34. Evolução com o tempo da potência instalada de energia solar no Brasil. Fonte: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABESOLAR, 2022).....	83
Figura 35. Potencial energético de biomassa por setor. (a) Energia [MWh], (b) Potência [MW] e (c) percentual de energia em cada tipo de biomassa em relação ao total. Fonte: (ASPE, 2013).	85
Figura 36. Faixas de custos da produção de hidrogênio. Fonte: EPE (2021).	91
Figura 37. Curvas de projeção de custo do hidrogênio. Fonte: EPE (2021).	92
Figura 38. Escopos e fontes de emissão no método GPC. Fonte: Prefeitura de São Paulo (2021), adaptado de Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories, GPC (C40 Cities, ICLEI, WRI, 2014).	98
Figura 39. Evolução das emissões brutas de GEE do Espírito Santo, por setor fonte, de 1990 a 2020, exceto para Eletricidade – Escopo 2 (2008-2020). Fonte: SEEG.	99
Figura 40. Participação relativa dos setores fonte nas emissões de GEE do Espírito Santo e do Brasil (escopo 1), no ano de 2020. Fonte: SEEG.	100
Figura 41. Comparação da emissão per capita de GEE do ES com outras regiões do mundo. Fonte: Adaptado de IPCC (2022).	101
Figura 42. Emissões do setor Agropecuário em 2020. Fonte: SEEG.	103
Figura 43. Emissões de GEE relacionadas à queima de combustíveis e emissões fugitivas na produção de energia para as atividades do ES e Importação de Energia Elétrica. Fonte: SEEG e SIN.	106
Figura 44. Emissão de CO ₂ e por combustível utilizado no setor de Transportes do ES. Fonte: adaptado de SEEG (2022).	108
Figura 45. Emissão de CO ₂ e por combustível utilizado em cada subsetor de transportes (aeroviário, rodoviário, ferroviário e hidroviário), em 2020. Fonte: adaptado de SEEG..	109
Figura 46. Emissões do subsetor Produção de Combustíveis do ES, em 2020, diferenciadas por atividade geradora e, no caso da queima de combustíveis, por combustível utilizado. Fonte de dados: SEEG.	111
Figura 47. Emissões de GEE relacionadas ao uso de energia no setor Industrial: (a) por subsetor e (b) % participação de cada combustível nas emissões dos subsetores. Fonte de dados: SEEG.....	112

Figura 48. Contribuição % dos diferentes combustíveis utilizados para geração de energia no setor industrial. Fonte de dados: SEEG.	113
Figura 49. Evolução temporal da emissão de GEE no ES relacionada à Geração de Eletricidade (Serviço Público), 2000 – 2020. Fonte de dados SEEG.	114
Figura 50. Evolução temporal do fator de emissão de CO ₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil, em tCO ₂ e/MWh. Fonte de dados: MCTI (2021b)	115
Figura 51. Emissões de GEE do subsetor Residencial no Espírito Santo, de 1990 a 2020, discriminadas por combustível utilizado. Fonte: SEEG.	116
Figura 52. Representação esquemática dos processos industriais incluídos nas estimativas de segundo as metodologias empregadas pelo SEEG e SIRENE. Fonte: MCTI (2022).	117
Figura 53. Emissões de GEE de processos industriais no ES, de 2000 a 2020. Fonte de dados: SEEG.....	118
Figura 54. Evolução temporal da emissão de GEE do setor de resíduos no ES, 1990 -2020. Fonte de dados: SEEG.....	120
Figura 55. Evolução temporal da emissão de GEE na disposição final de resíduos sólidos por tipo de resíduo no ES, 1990 -2020. Fonte de dados: SEEG.	121
Figura 56. Emissões de GEE do Estado por setor, subsetor e atividade econômica. Fonte SEEG.....	124
Figura 57. Contribuição % de cada atividade econômica para o total das emissões de GEE do ES, em 2020: (a) contribuições brutas e (b) contribuições líquidas para as emissões do ES. Fonte de dados SEEG.	126
Figura 58. Setores que compõem as áreas temáticas selecionadas para o agrupamento de estratégias.	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área ocupada, produção e Valor Bruto da Produção Agropecuária e Florestal (valor e participação percentual), do Espírito Santo em 2020. Identificação por grandes seguimentos e dos produtos que representam acima de 1%. Fonte: INCAPER (2022).....	33
Tabela 2. Matriz de potência instalada de geração de energia elétrica do ES a partir do regime de exploração e por origem do combustível: Autoprodutor de Energia (APE), Produtor Independente de Energia (PIE), Registro (REG) e Serviço Público (SP). Fonte de dados: Dados do Sistema de Informação de Geração da Aneel – SIGA.....	59
Tabela 3. Geração distribuída no ES quanto a Classe de consumo da unidade consumidora onde a Geração Distribuída está instalada, Tipo e Fonte. CGH – Central Geradora Hidroelétrica, EOL – Central Geradora Eólica, UFV – Central Geradora Solar Fotovoltaica, UTE- Usina Termoelétrica. Fonte de dados: ANEEL (2022b).	60
Tabela 4. Resumo das considerações de custos para as tecnologias do Modelo de Decisão de Investimentos empregado para elaborar o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021b). Fonte: Adaptado de EPE (2021b).....	73
Tabela 5. Características dos projetos em licenciamento - Complexos Eólicos Offshore no ES. Fonte: IBAMA (2022).....	79
Tabela 6. Energia e Potencial de cada tipo de biomassa no ES. Fonte: Fonte: (ASPE, 2013).	87
Tabela 7. Classificação dos principais tipos hidrogênio em escada de cores.	89
Tabela 8. Definições de escopos para inventários regionais. Fonte: (C40 Cities, ICLEI, WRI, 2014).	97
Tabela 9. Emissão [Mton CO ₂ e] e a participação % dos setores na emissão bruta e líquida do ES. Fonte de dados: SEEG.	102
Tabela 10. Emissão/Redução Não Contabilizada no Inventário Nacional (NCI) em 2020.	104
Tabela 11. Dados de emissão e remoção de carbono de Florestas e Mudança do Uso do Solo, em 2020, no ES. Fonte: SEEG.	105
Tabela 12. Emissões das funções do transporte (tonCO ₂ e) e sua participação % nas emissões no setor de transporte no Estado do ES, em 2020. Fonte SEEG. Fonte: adaptado de SEEG.	110
Tabela 13. Visão conceitual da análise SWOT aplicada ao Plano de Neutralização das Emissões de GEE.	130
Tabela 14. Análise SWOT para área temática de Energia & Indústria.	131

Tabela 15. Análise SWOT para área temática de Transportes.....	133
Tabela 16. Análise SWOT para área temática de AFOLU.	134
Tabela 17. Análise SWOT para área temática de Resíduos.....	137



1

INTRODUÇÃO

Os seres humanos estão influenciando cada vez mais o clima e a temperatura da Terra. O IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) da ONU demonstra em seu mais recente relatório (IPCC, 2021) que a influência humana nas mudanças climáticas é inequívoca, induzindo significativas alterações no clima e causando mudanças observadas em extremos climáticos, como ondas de calor, forte precipitação, secas e tempestades.

Os últimos dados do IPCC (IPCC, 2021) demonstram que as concentrações atmosféricas de Gases de Efeito Estufa (GEE) tem se elevado consideravelmente desde a Revolução Industrial. Notadamente, as concentrações atmosféricas de CO₂ são mais altas do que em qualquer momento em pelo menos 2 milhões de anos, e as concentrações de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) foram maiores do que em qualquer momento em pelo menos 800.000 anos. Desde 1750, os aumentos nas concentrações de CO₂ (47%) e CH₄ (156%) excedem em muito as mudanças que ocorreram naturalmente ao longo de milhares de anos no planeta. Nos últimos 2000 anos, a temperatura da superfície global aumentou mais rápido desde 1970 do que em qualquer outro período, considerando ciclos de 50 anos. Os extremos de calor se tornaram mais frequentes e mais intensos na maioria das regiões terrestres desde 1950, enquanto os extremos de frio tornaram-se menos frequentes e menos graves.

O aquecimento global intensificou o ciclo da água no planeta, incluindo sua variabilidade, precipitação e a severidade de eventos úmidos e secos, com consequências significativas para a agricultura e desastres naturais. Segundo o IPCC, é muito provável que eventos de forte precipitação e estiagem se intensifiquem e se tornem ainda mais frequentes, levando a episódios mais frequentes de inundações e secas, como já se tem observado nos noticiários atuais. A mudança climática de origem antropogênica já contribuiu para o aumento das secas agrícolas e ecológicas em diversas regiões, devido ao aumento da evapotranspiração do solo e vegetações. A influência humana, também, aumentou a chance de eventos climáticos extremos desde a década de 1950, incluindo aumentos na frequência de ondas de calor e secas, clima propício a incêndios e inundações.

Os resultados de modelos de projeção de cenários climáticos futuros demonstram que a temperatura da superfície global continuará a aumentar até, pelo menos, meados do século em todos os cenários de emissões considerados. Mesmo com as políticas mais agressivas de redução de emissões de GEE, estima-se que o aquecimento global de 1,5 °C a 2 °C será excedido durante o século 21, a menos que reduções significativas em emissões de CO₂ e outros GEE ocorram nas próximas décadas.

Desta forma, é extremamente importante planejar ações de mitigação e adaptação para cada região, focadas na redução das emissões de GEE para evitar ou reduzir a mudança do clima. Ações de adaptação estão relacionadas a agir para se adaptar aos efeitos atuais das mudanças climáticas e preparar as regiões para impactos previstos no futuro.

1.1. AÇÕES DO ESPÍRITO SANTO

Como parte dessas ações, o Estado do Espírito Santo criou o Fórum Estadual de Mudanças Climáticas, que é presidido pelo governador do Estado e tem representantes das secretarias de Estado, órgãos e autarquias, além de representantes da sociedade civil organizada e o setor produtivo, incluindo agentes: da Federação das Indústrias do Espírito Santo (FINDES); da Federação da Agricultura e Pecuária do Estado (FAES); da Federação das Empresas de Transportes do Estado do Espírito Santo (FETRANSPORTES); da Coordenação Estadual de Proteção e Defesa Civil; da Procuradoria Geral do Estado (PGE); da Assembleia Legislativa do Estado do Espírito Santo (ALES); da Academia; da Associação Nacional de Órgãos Municipais de Meio Ambiente (ANAMA); da Associação dos Municípios do Espírito Santo (AMUNES); do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA). As decisões do Fórum Estadual de Mudanças Climáticas são baseadas nos direcionamentos técnicos da Comissão Estadual de Mudanças Climáticas, que propõe as ações que devem constituir o Plano Estadual de Mudanças Climáticas e representam o conjunto de projetos e estratégias a serem adotadas pelo Estado do Espírito Santo para enfrentar as causas e efeitos das Mudanças Climáticas.

A Comissão Estadual de Mudanças Climáticas realizou reuniões com representantes de quatro Estados da Federação (Minas Gerais, Pernambuco, Paraná e São Paulo), que já construíram ou estão construindo seus Planos Estaduais de Enfrentamento às Mudanças Climáticas, de maneira a analisar os elementos, ações e estratégias necessários para construção do plano estadual do ES e avaliar os principais desafios em sua elaboração e implementação. Assim, como resultado dessas ações, foi elaborado o documento “Nota Conceitual para elaboração do Plano Estadual de Mudanças Climáticas” (CEMC, 2021), que descreve 24



Race to Zero é uma campanha global para reunir lideranças com objetivo de alcançar emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até 2050, visando limitar o aumento da temperatura global a 1,5 °C.

Esta campanha promovida pela ONU mobiliza uma coalizão das principais iniciativas *Net Zero*, representando 1.049 cidades, 67 regiões, 5.235 empresas, 441 dos maiores investidores e 1.039 instituições de ensino superior. Esses atores da “economia real” juntam-se a 120 países na maior aliança de todos os tempos comprometida em alcançar emissões líquidas zero de carbono até 2050, que agora cobrem quase 25% das emissões globais de CO₂ e mais de 50% do PIB.

ações necessárias para o enfrentamento das questões relacionadas às mudanças climáticas no ES.

O conjunto de ações previstas para o Plano Estadual de Mudanças Climáticas requer extenso trabalho de pesquisa de alternativas tecnológicas para a mitigação das emissões de GEE e confecção de instrumentos para diagnóstico e subsídio ao processo de tomada de decisão. A lista completa de elementos necessários para a construção do Plano inclui itens que vão desde as ações de construção/adaptação de infraestrutura para as novas condições climáticas até a implementação de instrumentos de financiamento para apoiar as modificações necessárias na matriz energética, transportes, processos industriais e demais atividades relacionadas.

O Espírito Santo aderiu oficialmente às campanhas “*Race to Zero*” (Corrida para o Zero) e “*Race to Resilience*” (Corrida para a Resiliência), da Organização das Nações Unidas (ONU), comprometendo-se com a realização de ações visando a neutralização de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) até 2050 e a resiliência climática. Como parte das ações necessárias para o cumprimento das metas acordadas pelo Estado, destaca-se a necessidade de elaboração de estratégias e ações para atingir as metas de neutralização de emissões de GEE. Esta construção requer extenso trabalho de pesquisa de alternativas tecnológicas para a mitigação das emissões de GEE e confecção de instrumentos e políticas públicas para apoiar as modificações necessárias na matriz energética, transportes, processos industriais e demais atividades relacionadas.

A construção do Plano de Neutralização das Emissões de Gases de Efeito Estufa (PNEGEE) do ES envolve 02 etapas:

- Identificação de soluções ou rotas tecnológicas aplicáveis ao contexto e vocação do ES.
- Proposição de mecanismos e políticas públicas que auxiliem a implementação do programa.

É importante salientar que tal esforço de pesquisa não deve apenas incluir especialistas e pesquisadores nos temas afetos a mitigação e adaptação, mas também os setores do governo do Estado, setores privados e a sociedade civil organizada. Desta forma, a elaboração deste Plano tem seu foco na busca de alternativas tecnológicas, incorporando neste trabalho a visão de atores relevantes (*stakeholders*) da sociedade civil, representantes do governo e de representantes da iniciativa privada, incluindo a proposição de mecanismos e políticas públicas que auxiliem as transformações necessárias.

O trabalho de pesquisa de alternativas/rotas tecnológicas é conduzido por especialistas em cada uma de suas áreas temáticas e servidores do Estado especificamente designados para atuar como elo entre o Plano Estratégico de Governo do Estado e o trabalho técnico desenvolvido pelos pesquisadores, garantindo o alinhamento das estratégias com a visão do Governo.

Na área de Agropecuária, o PNEGEE do ES é construído de maneira alinhada ao Plano de Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária do ES (ABC+), coordenado pela Secretaria de Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca do ES (SEAG), de maneira a consolidar os esforços no setor agropecuário do ES para produzir sistemas sustentáveis, resilientes e produtivos.

A forma de construção do PNEGEE é baseada na abordagem de Planejamento Estratégico, contemplando as etapas de **Diagnóstico** (inventário de emissões existente, vocações, potencialidades, limitações e características socioeconômicas do Estado) e **Planejamento**, definindo Diretrizes, Estratégias, Projetos e Planos de Ação para atingir a meta estratégica de neutralização de emissão de GEE do ES até 2050. Uma descrição completa da metodologia empregada na construção deste Plano é apresentada no “Caderno de Metodologia do Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE do ES”, que inclui descrições detalhadas da abordagem de planejamento estratégico empregada e do plano de mobilização social para engajamento e participação dos stakeholders. Este documento está disponível em:

<http://impactoclima.ufes.br/NetZeroES/documentos>.

Este documento apresenta os resultados da etapa de **Diagnóstico**, contendo análises do inventário de emissões existente, vocações, potencialidades, limitações e características socioeconômicas do Espírito Santo. O texto está dividido em 5 capítulos. Após este material introdutório apresentado no Capítulo 1, o Capítulo 2 apresenta um diagnóstico sobre o panorama socioeconômico do ES e os desafios ligados à neutralização de emissões de GEE. O Capítulo 3 analisa a matriz energética do ES com foco específico nos desafios e potencialidades para transição energética. O Capítulo 4 analisa o inventário de emissões de GEE, descrevendo os principais setores e atividades econômicas relacionados aos maiores níveis de emissão. Finalmente, o Capítulo 5 apresenta uma avaliação dos fatores estratégicos internos, como pontos fortes e fracos, e fatores estratégicos externos, como oportunidades e ameaças, contribuindo para identificar as estratégias para explorar suas potencialidades e vocações (pontos fortes) e superar suas limitações internas (pontos fracos).



2

**CARACTERÍSTICAS
SOCIOECONÔMICAS
DO ESTADO**

De acordo com o Censo 2010, conduzido pelo IBGE, naquele ano, a população de ES era de 3.514.952 pessoas. Em 2022, a população estimada do Estado era de 4.151.923 habitantes (IBGE, 2022), correspondendo a uma densidade demográfica de 89,12 hab/km². Em 2010, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Estado foi de 0,740, ocupando o 7º lugar no ranking entre os estados brasileiros. Segundo o IBGE, a população projetada do Estado para o ano de 2050 será de 4.885.838 habitantes, representando um crescimento de aproximadamente 18% em relação à população atual. A Figura 1 apresenta a projeção da população do Espírito Santo calculada pelo IBGE entre 2010 e 2060 (IBGE, 2022).

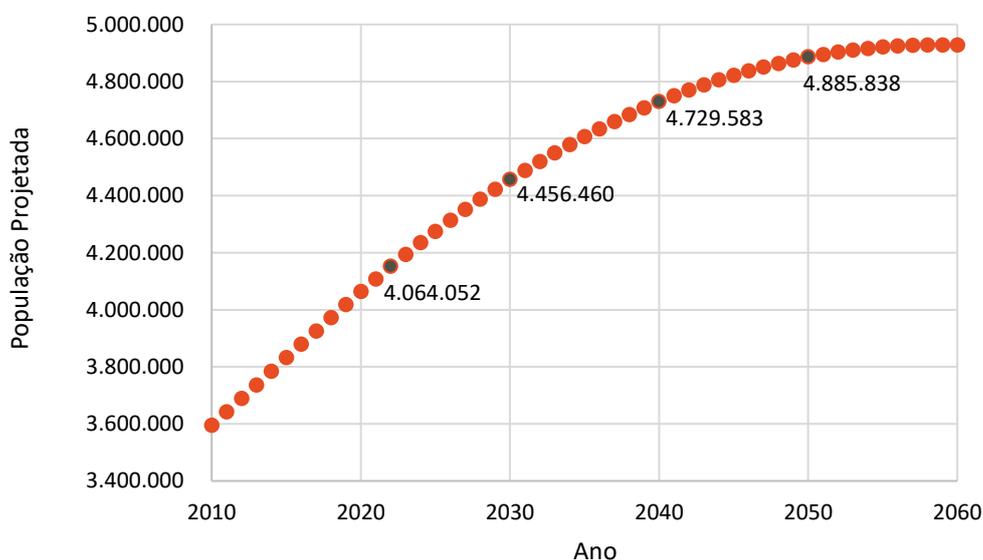


Figura 1. Projeção da população do Espírito Santo, 2010-2060. Fonte de dados: IBGE (2022).

A Figura 2 apresenta a participação percentual dos setores da economia na composição do Produto Interno Bruto (PIB) do Espírito Santo. A participação dos setores econômicos em cada região não é uniforme, conforme pode ser observado na Figura 3, a qual apresenta a participação em percentual (%) das atividades econômicas no Valor Adicionado (VA) do Espírito Santo setorial em cada microrregião do Espírito Santo em 2018. É possível notar que o setor de Comércio e Serviços é o principal responsável pelo VA de todas as microrregiões do Estado, com exceção da microrregião Litoral Sul, que possui predomínio da atividade industrial, e microrregião do Rio Doce, que possui um equilíbrio entre os setores Industrial e Comércio e Serviços. De maneira geral, é possível dividir as microrregiões do Estado em 2 grandes grupos:

- Microrregiões com predomínio das atividades do setor de Comércio e Serviços e do setor Industrial e baixa participação do setor Agropecuário na composição do VA: Metropolitana, Litoral Sul, Central Sul, Rio Doce.
- Microrregiões onde o setor agropecuário aparece de maneira mais significativa na composição do VA: Central Serrana, Sudoeste Serrana, Caparaó, Centro-Oeste, Nordeste e Noroeste. Neste grupo, um destaque deve ser feito para as microrregiões Central Serrana, Sudoeste Serrana e Caparaó, que possuem participação do setor Agropecuário superior ao setor Industrial na composição do VA.

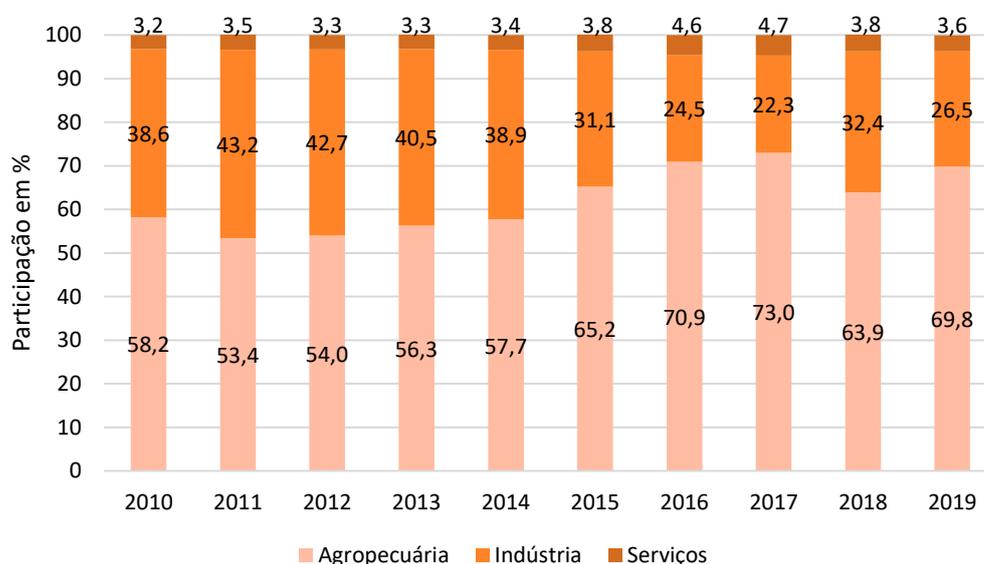


Figura 2. Participação (%) dos setores no PIB Estadual, 2010-2019. Fonte de dados: IJSN (2021).

Além da análise do PIB e VA do Estado, é também importante analisar a distribuição de estabelecimentos formais e empregos em cada um dos setores. A Figura 4 apresenta a participação dos estabelecimentos e empregos formais no total do Espírito Santo, por setor econômico, em 2019. Pode-se observar, mais uma vez, que existe o predomínio dos setores de Comércio e Serviços, tanto no número de estabelecimentos quanto de empregos. Entretanto, é possível observar a relevância dos setores da Agricultura, Indústria de Transformação e Construção no número de estabelecimentos formais e dos setores Administração Pública, Indústria de Transformação, Construção e Agricultura no número de empregos.

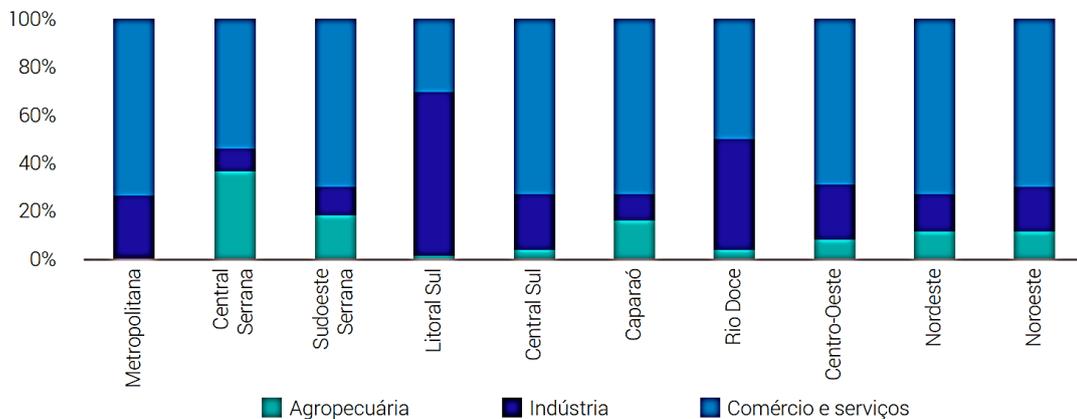


Figura 3. Participação das atividades econômicas no Valor Adicionado do Espírito Santo 2018. Fonte: IDEIES (2021).

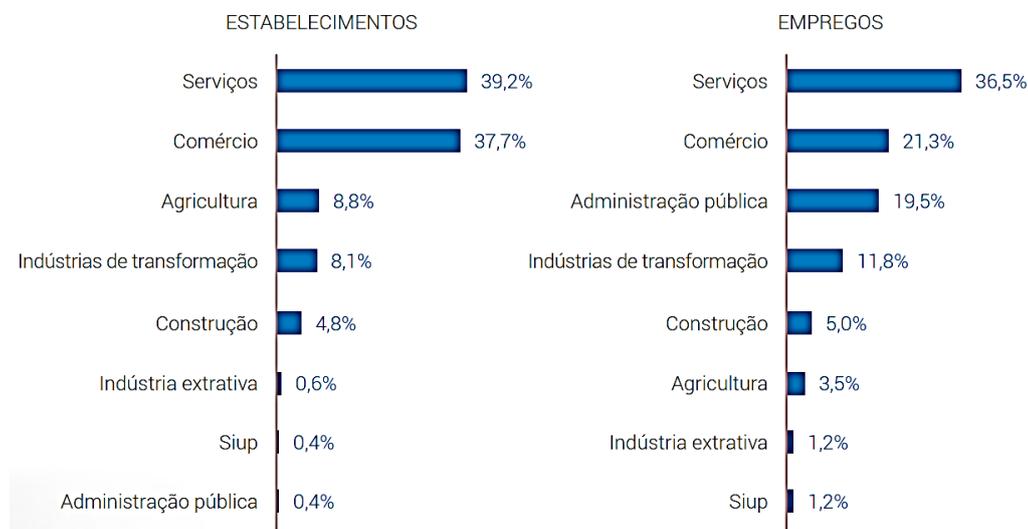


Figura 4. Participação dos estabelecimentos e empregos formais no total do Espírito Santo, por setor econômico, em 2019. Fonte: IDEIES (2021).

2.1 Panorama Industrial

As informações apresentadas nesta seção são baseadas no relatório intitulado “Panorama da Indústria do Espírito Santo”, publicado pelo Instituto de Desenvolvimento Educacional e Industrial do Espírito Santo - IDEIES (IDEIES, 2021). Segundo o documento, em 2019, seis atividades industriais concentraram quase 83% do Valor de Transformação Industrial (VTI)¹ do Espírito Santo, sendo essas: extração de petróleo e gás natural (36,8%); extração de minerais não-metálicos (14,7%); metalurgia (10,4%); fabricação de produtos alimentícios (6,8%); fabricação de celulose, papel e produtos de papel (5,5%); e fabricação de produtos de minerais não-metálicos (8,1%). A Figura 5 apresenta a participação em percentual das principais atividades industriais no VTI do Espírito Santo em 2007 e 2019.



Figura 5. Participação % das principais atividades industriais no VTI do Espírito Santo - 2007 e 2019. Fonte: IDEIES (2021).

O setor industrial no ES foi responsável por 118.831 empregos em 2019, sendo 107.436 na indústria de transformação e 11.395 na extrativa. Conforme demonstra a Figura 6, os

¹ O Valor da Transformação Industrial (VTI) é determinado pela diferença entre o valor bruto da produção e seus custos de operações. Dessa forma, essa variável reflete o quanto cada atividade industrial agregou de valor à produção.

setores de fabricação de produtos alimentícios, os produtos de minerais não-metálicos e a atividade de confecção de artigos do vestuário e acessórios, juntas, responderam por 45,5% do total de empregos na indústria do Estado. Os estabelecimentos industriais de micro e pequeno porte empregaram 54,0% dos trabalhadores da indústria capixaba em 2019. As médias e grandes indústrias foram responsáveis, respectivamente, por 24,4% e 21,6%, como mostrado na Figura 7.



Figura 6. Setores com as maiores quantidades de empregados formais na indústria do ES em 2019. Fonte: IDEIES (2021).

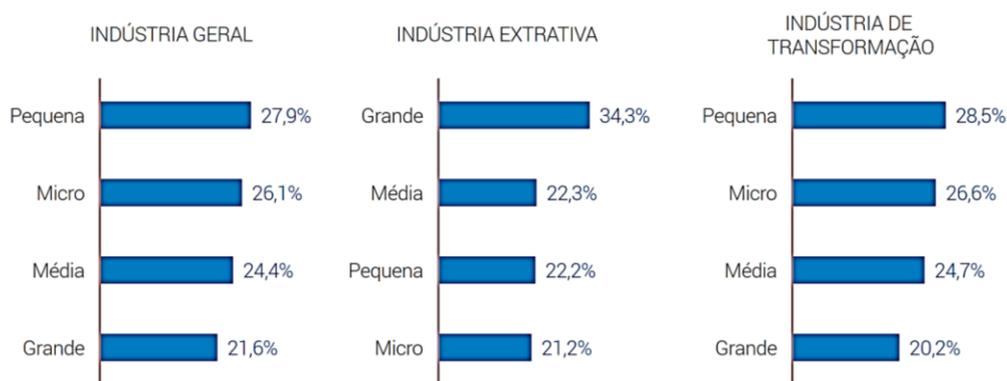


Figura 7. Quantidade de empregos industriais no Espírito Santo, por porte, em 2019. Fonte: IDEIES (2021).

A Figura 8 mostra a evolução da participação em percentual das microrregiões na quantidade de empregos industriais do Espírito Santo. Em 2019, a microrregião Metropolitana concentrou 41,0% dos empregos industriais de todo o Estado, ou seja, 48.679 empregos. As outras microrregiões com maior concentração de indústrias do Estado foram: Central Sul (18,0%), Centro-Oeste (11,2%) e Rio Doce (9,3%). A Figura 9 apresenta a distribuição de empregos industriais por município em 2019, onde é possível observar uma clara predominância da distribuição de empregos industriais nos municípios da microrregião Metropolitana e Central Sul.

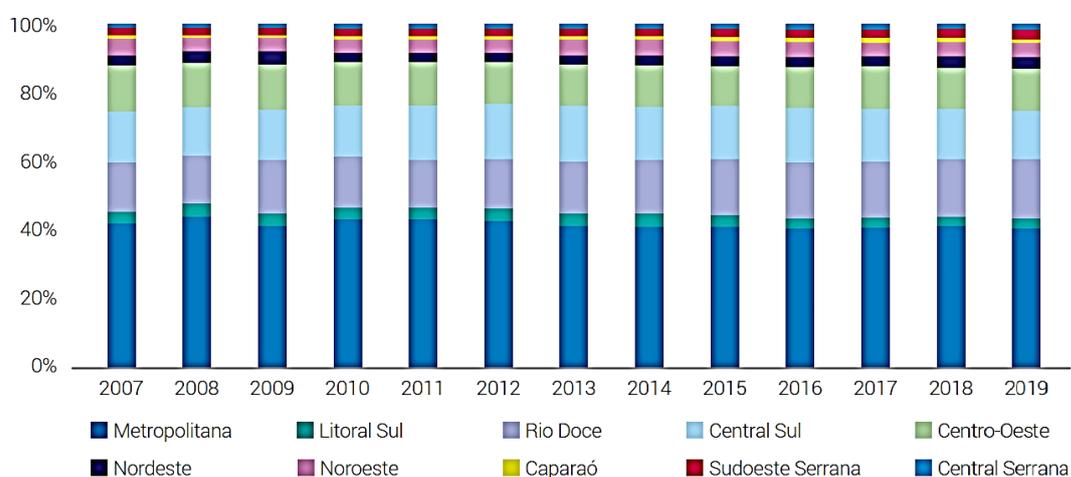


Figura 8. Evolução da participação % das microrregiões na quantidade de empregos industriais do Espírito Santo. Fonte: IDEIES (2021).

O IDEIES (2021) também indica que cada uma das microrregiões possui suas particularidades, com setores industriais mais relacionados a algumas microrregiões. Por exemplo, a extração e fabricação de produtos de minerais não-metálicos foram as atividades predominantes nas regiões Central Sul, Litoral Sul e Noroeste, em 2019. A fabricação de produtos de madeira é predominante nas microrregiões Sudoeste Serrana e na Central Serrana. A confecção de artigos do vestuário e acessórios é uma das atividades industriais mais relevantes na Centro-Oeste. Enquanto, as empresas do setor de confecção e artigos do vestuário, e a mão de obra empregada no setor metalúrgico são as que predominam na microrregião Metropolitana. Já o setor de fabricação de produtos alimentícios aparece como uma das três principais atividades industriais em todas as microrregiões do ES.

Maiores detalhes sobre o panorama do industrial do ES podem ser encontrados em IDEIES (2021).

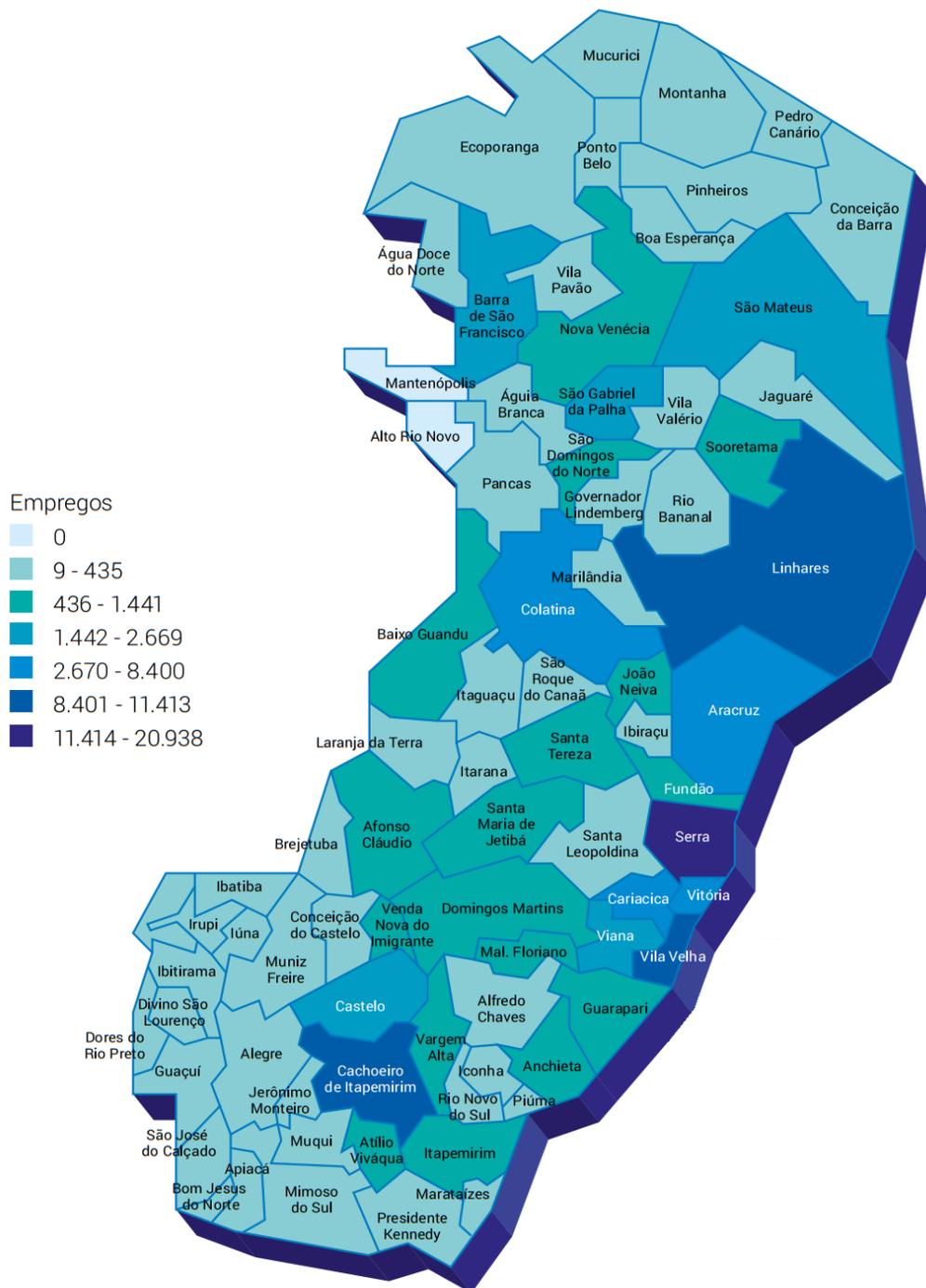


Figura 9. Distribuição de empregos industriais por município em 2019. Fonte: IDEIES (2021).

2.2 Panorama do Setor Agropecuário e Florestal

No Estado, 3,6% do PIB foram relacionados a agropecuária, sendo que, deste total, a agricultura representou 2,2% (principalmente café), o setor animal 1,2% e o setor florestal contribuiu com 0,2% (IJSN, 2019).

De acordo com o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2017), o Espírito Santo possui uma área de 3,25 milhões de hectares, com 108 mil estabelecimentos agropecuários, sendo as regiões Litoral Norte e Noroeste as que possuem a maior participação na área agropecuária Capixaba, totalizando 35,6%. As pastagens estão presentes em 45% das terras Capixabas, sendo que 89% são pastagens plantadas em boas condições, o que representa 1.310.487 ha. Pastagens degradadas representam 161.960 ha, correspondendo a 11% das terras, e pastagens naturais compreendem 5.504 ha. Em seguida, as áreas ocupadas com florestas e/ou matas no Estado representam 25% do uso das terras, sendo 65% (521.729 ha) ocupados por florestas e/ou matas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal. Finalmente, as lavouras ocupam 22% das terras do Estado. A agricultura familiar está presente em 75% dos estabelecimentos agropecuários e ocupa 34% da área agropecuária no Estado.

Segundo o IDEIES (2018), as atividades primárias, que englobam a agricultura, pecuária e produção florestal, respondem por 4,6% do valor adicionado (VA) à economia Capixaba. A expansão da silvicultura no Estado ocorreu a partir de 1970, influenciada, principalmente, pela produção de celulose branqueada.

O Espírito Santo também é mencionado por sua vocação na área florestal devido às condições naturais favoráveis, aliadas ao desenvolvimento tecnológico avançado da silvicultura e a outras condições privilegiadas, como localização geográfica, infraestrutura, logística de transporte e diversificação de plantas industriais, entre outras. VALVERDE *et al.* (2005) apontavam um elevado potencial de crescimento da atividade florestal no Estado, assegurando um papel de destaque do setor como um dos seus principais vetores de desenvolvimento capixaba. O setor florestal gera cerca de 80 mil empregos diretos e indiretos e envolve em torno de 28 mil propriedades rurais como fomentados e produtores independentes.

A bovinocultura de corte capixaba é praticada em sua maior parte em áreas de pastagens, com uma diversidade de sistemas de produção, mas com predomínio do sistema extensivo. A raça predominante é a Nelore, mas outras raças taurinas como a Angus também têm sido criadas por muitos pecuaristas. No Estado, o efetivo do rebanho bovino é de 2.106.299 cabeças, o que representa 1% do rebanho nacional, ocupando a 17ª posição entre os estados com maiores rebanhos. O município de Ecoporanga é aquele com maior quantitativo de animais (221.749 cab.), seguido pelos municípios de Linhares (139.841 cab.)

e Montanha (98.520 cab.), consolidando as regiões Noroeste e Rio Doce como destaque para esta importante atividade. Já a bovinocultura leiteira está presente em 90% dos municípios capixabas, exercendo um papel de extrema importância no desenvolvimento econômico estadual. Essa atividade é desenvolvida tradicionalmente por pequenos e médios produtores rurais familiares que possuem, em sua maioria, pequenas áreas e rebanho, sendo composto por animais cruzados, oriundos da genética de gado Holandês e Zebu. Segundo o IBGE (2020) foram ordenadas 197.109 vacas no Espírito Santo com uma produção média de 392.474 milhões de litros de leite, o que coloca o Estado na 16ª posição no ranking nacional.

Nos últimos anos houve um grande avanço tecnológico na produção agropecuária do Espírito Santo, tendo na cultura do café um grande exemplo, na qual o Espírito Santo é o segundo maior produtor nacional. Considerando a população e a área territorial capixaba, o Estado ocupa o primeiro lugar no contexto nacional, com enorme vantagem sobre os demais Estados. Portanto, a cafeicultura possui importância ainda maior no Espírito Santo, comparado aos demais estados brasileiros. Retratando a grande contribuição do conhecimento (geração e uso) para a cafeicultura, ressaltam-se a seguir alguns números do Café Conilon no Estado. Em 1999, a produção foi de 2,69 milhões de sacas, em uma área de 322 mil hectares, uma produtividade abaixo de 10 sacas por hectare. Depois de três anos, a produção mais que dobrou (7,25 milhões), praticamente na mesma área (329 mil hectares), ou seja, uma produtividade de 22 sacas por hectare. Estes números são reflexo do grande avanço tecnológico da cafeicultura no Estado no final da década de 1990, que continuou nos anos seguintes, sendo observado melhorias na produtividade, geração e uso de tecnologia. Vale destacar que dois anos de seca levaram a produção a valores abaixo de 6 milhões de sacas nos anos de 2016 e 2017. Essa catástrofe climática trouxe muitos prejuízos a todo o Espírito Santo e segmento, porém os agricultores vêm superando essa crise, estando agora com mais preparo e conhecimento. Nos últimos anos, a produção de café Conilon tem sido aproximadamente 10 milhões de sacas, em cerca de 250 mil hectares de área cultivada (área bem inferior a 1999). Nesse sentido, o avanço tecnológico na cultura do café também contribuiu para preservar o meio ambiente, especialmente as matas capixabas, pois hoje produz-se muito mais em uma área menor. Tais benefícios são o resultado direto da geração e difusão de tecnologia (por agricultores, técnicos e pesquisadores) e seu uso, realizado principalmente pelos cafeicultores e toda equipe de trabalhadores envolvidos no seguimento. A Tabela 1 apresenta um resumo do potencial agropecuário do ES em 2020.

Tabela 1. Área ocupada, produção e Valor Bruto da Produção Agropecuária e Florestal (valor e participação percentual), do Espírito Santo em 2020. Identificação por grandes seguimentos e dos produtos que representam acima de 1%. Fonte: INCAPER (2022).

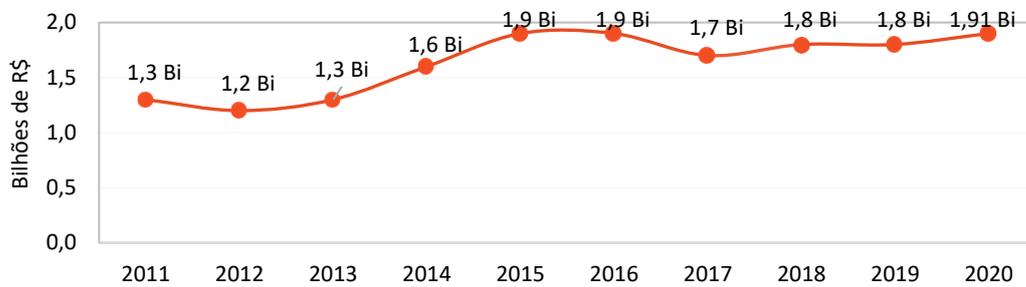
Seguimento	Área colhida (ha)	Produção	Unidade	Valor (mil R\$)	Participação (%)
Agricultura	587.792	6.223.030		8.474.570	68,16
Produção Animal	1.310.487			3.606.200	29,00
Silvicultura e Extração Vegetal	599.832			353.125	2,84
Total				12433895	100,00
Cultura/Atividade	Área colhida (ha)	Produção	Unidade	Valor (mil R\$)	Participação (%)
Café conilon (em grão)	261.943	568.893	t	3.204.117	25,77
Café arábica (em grão)	123.070	218.510	t	1.401.470	11,27
Ovos galinha		402.073	mil dz	1.268.664	10,20
Carcaça de bovinos		59.677	t	828.044	6,66
Leite		392.474	mil L	656.647	5,28
Pimenta-do-reino	17.100	67.594	t	622.163	5,00
Carcaça de aves		136.807	t	536.283	4,31
Banana	28.737	415.882	t	476.531	3,83
Tomate estaqueado	2.598	149.314	t	330.300	2,66
Mamão	7.309	438.855	t	329.959	2,65
Carcaça de suínos		23.555	t	206.889	1,66
Madeira p papel e celulose		3.000.826	m ³	198.116	1,59
Inhame	3.422	95.490	t	175.599	1,41
Repolho	5.488	247.093	t	161.692	1,30
Gengibre (rizoma)	656	35.940	t	161.327	1,30
Chuchu	1.682	192.359	t	155.014	1,25
Cana-de-açúcar	43.217	2.578.915	t	150.654	1,21
Cacau (amêndoa)	17.185	11.305	t	134.824	1,08
Outros				1.435.601	11,57
Total				12.433.894	100,00

O Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBPA) para o ano de 2020 foi de aproximadamente R\$ 12,4 bilhões. A participação das atividades relacionadas a Agricultura foi de 68,2%, Produção Animal de 29,0% e Silvicultura e Extração Vegetal de 2,8%. Das atividades relacionadas a Agricultura, a cafeicultura representou 37,0% do VBPA (25,77% para café Conilon e 11,27% para café Arábica), seguido pela pimenta do reino (5,00%) e banana (3,83%). Na Produção Animal o destaque foi a produção de ovos de galinha (10,20%), seguido por carcaça de bovinos (6,66%). Na Silvicultura e Extração Vegetal o destaque é para madeira, papel e celulose (1,59%).

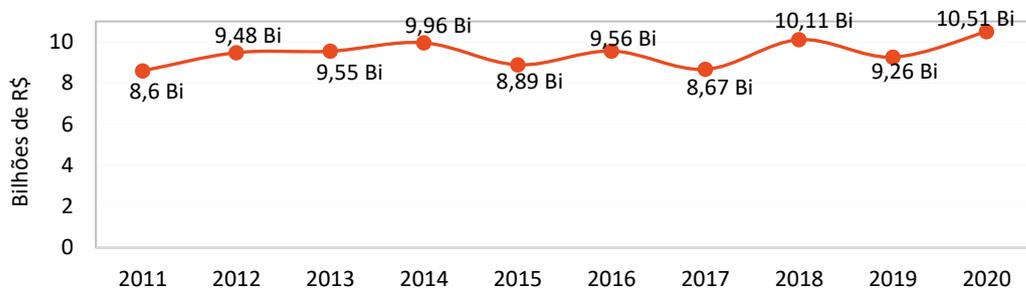
De acordo com dados do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER, 2022), nota-se um aumento no valor da produção nos últimos 10 anos do setor Agricultura e o mesmo ocorre no setor Produção Animal, conforme demonstrado na Figura 10. Por sua vez, há uma queda no setor de Silvicultura e Extração Vegetal. Nota-se uma tendência de crescimento da produção e valor ao longo dos anos e, ao mesmo tempo, uma menor ocupação de área. A área da produção relacionada a agricultura tem ficado abaixo de 600 mil hectares, com uma redução de aproximadamente 100 mil hectares no comparativo com o ano de 2011. A produção de carcaça de bovinos no Estado em 2020 foi de 59.677 toneladas, 18% menor do que a quantidade produzida em 2019, que foi de 72.902 toneladas. De 2011 para 2020 houve uma redução de 9.412 toneladas na quantidade produzida.

De acordo com dados de plantios florestais licenciados pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal – IDAF, o Espírito Santo possui 162.337,07 ha de florestas plantadas, compostas em sua maioria por espécies do gênero *Eucalyptus* sp. Em geral, os plantios licenciados pertencem a empresas do setor de celulose e papel (147 mil hectares) e se concentram principalmente na região norte do Estado, sendo a outra parte dos plantios realizados por particulares, localizados principalmente nos municípios de Pinheiros e São Mateus. A cadeia produtiva de produtos florestais não madeireiros do Estado do Espírito Santo envolve principalmente a produção de palmito, pinus para extração de resinas e frutas nativas da Mata Atlântica.

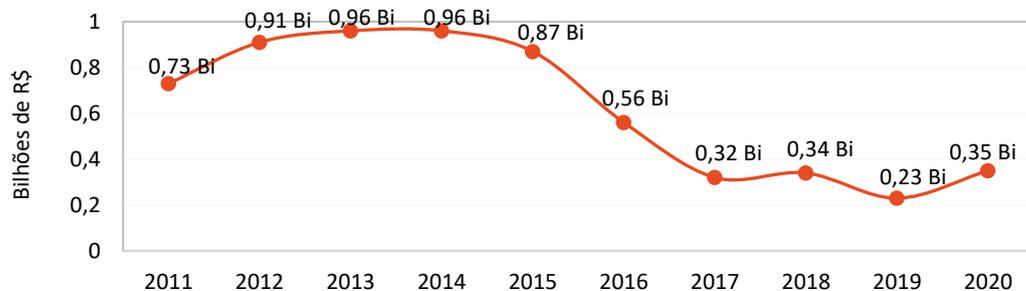
Segundo o Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura do Espírito Santo (2015-2030), considerando a cadeia produtiva de produtos florestais madeireiros, a produção Capixaba de carvão vegetal foi de 41 mil toneladas e gerou o valor bruto de R\$ 24,4 milhões, cerca de R\$ 0,60 por kg. A produção de madeira em tora foi de 6,1 milhões de m³ e valor bruto de R\$ 532 milhões, equivalendo a R\$ 87,21 por m³. A produção de lenha registrada foi aproximadamente 430 mil m³, com valor bruto de R\$ 17,8 milhões, aproximadamente R\$ 41,40 por m³ (ESPÍRITO SANTO, 2016).



(a)



(b)



(c)

Figura 10. Valor da produção do setor agropecuário no Estado do Espírito Santo nos últimos 10 anos. Subsetores: (a) Produção Animal, (b) Agricultura e (c) Silvicultura e Extração Vegetal. Fonte de dados: INCAPER (2022).

Tendo em vista os dados apresentados, deve-se levar em conta que muitos deles podem ser oriundos de diferentes fontes e períodos, o que pode levar a conflitos de informações. É importante ressaltar que bases de dados fidedignas são essenciais para se construir um plano de descarbonização efetivo e este deve ser um tema que merece especial atenção. Nesse sentido, em ações futuras, é importante dedicar esforços para se construir bases de dados locais com maior nível de detalhes e grau de confiabilidade.

Analisando os desafios existentes para a implementação de uma economia livre de carbono, é possível destacar as seguintes características relevantes do Setor Agropecuário e Florestal no ES:

- 1. Tradição florestal do Estado, com a presença de diversas atividades relacionadas à produção florestal, incluindo a presença de importantes empresas florestais.** As atividades de silvicultura estão presentes no Espírito Santo, por sua aptidão edafoclimática para a produção florestal, aliada à localização e logística de portos e a presença de indústria de base florestal. O Estado possui extensas áreas de plantios de eucalipto destinadas à produção de celulose, principalmente na região Litoral Norte. Apesar da maior parte desses plantios (65%) pertencerem à empresas, há também áreas de plantios florestais particulares, com uso da madeira para outros fins. Na região Serrana, de clima mais ameno, há plantios de *Pinus elliottii* var. *elliottii*, destinados à produção de madeira serrada.
- 2. Grande espaço para converter áreas degradadas em áreas recuperadas, com grande potencial de fixar carbono.** Segundo levantamento realizado em 2012 pelo Centro de Desenvolvimento do Agronegócio (CEDAGRO, 2012), a área agrícola degradada no Estado do Espírito Santo era de 393.321,55 ha, o que correspondia a 8,54% da área estadual e 16,65% da área agrícola total. A maior parte dessas áreas degradadas correspondiam a pastagens (60%), sendo áreas não produtivas e que, se recuperadas, oferecem potencial de fixação de carbono.
- 3. Existência de ações de políticas públicas já consolidadas de Agricultura de Baixo Carbono, inclusive com linhas de créditos específicas.** Em 2014, o Estado elaborou o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono do Espírito Santo - PLANO ABC - Espírito Santo 2014-2020 que está em fase de revisão de forma mais abrangente, intitulado: Plano de Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária do ES (ABC+), com ações e metas a serem alcançadas em diferentes tecnologias sustentáveis.
- 4. Existência de ações de políticas públicas já consolidadas de incentivo ao plantio de florestas comerciais e projetos de restauração/recuperação da Mata Atlântica.** O Estado do Espírito Santo possui a Política de Incentivo à Cadeia Produtiva de Base Florestal do Espírito Santo (Mais Floresta Produtiva) e o Programa Reflorestar, que têm ajudado os produtores rurais capixabas a unir conservação e geração de renda. Sancionada em 5 de novembro de 2018, a Lei Estadual 10.918 instituiu a Política de Incentivo a Cadeia Produtiva de Base Florestal do Espírito Santo (Mais Floresta Produtiva), que tem por objetivo o desenvolvimento sustentável na expansão de áreas com florestas produtivas e

adequação ambiental das propriedades agrícolas, por meio de parcerias baseadas em um modelo de gestão descentralizado e fundamentado na governança interinstitucional. Já o programa Reflorestar trata de apoio na forma de pagamentos por serviços ambientais (PSA) fornecido na restauração da floresta nativa, seja por meio do plantio de mudas ou pela condução da regeneração natural. O programa surgiu com o objetivo principal de restauração do ciclo hidrológico e geração de oportunidades e renda para o produtor rural. No entanto, as atividades de conservação e recuperação da cobertura florestal são estratégias de fixação de carbono e mitigação das emissões de GEE do Estado.

5. **Crescimento contínuo da produtividade em praticamente todas as culturas. Maior produção em menor área, comparado aos anos anteriores.** É notório o ganho de produtividade em todas as espécies cultivadas, com aumento significativo da produção em áreas até menores comparativamente a 20 anos.
6. **Crescimento marcante das pesquisas científicas e formação de recursos humanos em praticamente todas as áreas do conhecimento, inclusive as Ciências Agrárias.** Dados de levantamentos realizados em bases indexadoras internacionais de artigos científicos tem mostrado um grande crescimento da produção científica no Estado, tendo um crescimento maior que o dobro do crescimento médio brasileiro em número de artigos. Também houve um crescimento superior a 400% no número de pós-graduandos formados (mestrado e doutorado) no Estado nos últimos anos, principalmente pela UFES e IFES, produzindo mão-de-obra qualificada de alto nível para atuação no mercado estadual.
7. **Extensão rural em todos os municípios do Estado.** A presença do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) em todos os municípios do Estado através de escritórios locais, bem como a atuação de outros órgãos importantes como o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), Cooperativas e até mesmo consultoria particular e empresarial promovem ações integradas de pesquisa, assistência técnica e extensão rural, servindo de apoio e elo para o produtor rural.
8. **Fiscalização agropecuária e florestal em todos os municípios do Estado.** Presença do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF) responsável pela execução da política agrária do Estado no que se refere às terras públicas, pela execução da política cartográfica e pela execução da política de defesa sanitária das atividades agropecuárias, florestais, pesqueiras, dos recursos hídricos e solos bem como pela administração dos remanescentes florestais da

Mata Atlântica, demais formas de vegetação existentes e da fauna no território do Estado do Espírito Santo.

- 9. Potencial de produção de biocombustível no Estado.** Um plano de descarbonização passa, certamente, pela redução do uso de combustível fóssil e adoção de energias alternativas. O Estado tem perfil agrícola para cultivo de espécies vegetais com potencial produção de biocombustível. Entretanto, este tipo de estratégia depende fortemente do setor de energia, que tem maiores condições de organizar as cadeias de consumo da energia produzida, de modo a orientar a produção do setor agrícola. É importante ressaltar que a produção de biocombustível envolve o uso de grandes áreas com os seus custos associados e, não havendo um mercado de energia bem-organizado para consumir o biocombustível produzido, poderia gerar grandes problemas ao produtor rural. Além disso, o produtor rural precisaria ser convencido a mudar o seu sistema de produção, substituindo as culturas que são tradicionalmente produzidas por vegetais capazes de produzir biocombustíveis. As barreiras tecnológicas para a produção de culturas pouco tradicionais também devem ser levadas em consideração.
- 10. Cadeia da bovinocultura em expansão.** É relevante reconhecer a grande importância socioeconômica e cultural da bovinocultura no Estado. Esta atividade desenvolvida em pastagens extensivas ocupa uma área significativa no ES, com sistemas de produção diversificados, mostrando que alguns produtores têm se especializado ainda mais na atividade em comparação a modos tradicionais e sem acesso às tecnologias disponíveis. Através de iniciativas do governo estadual e de empresas privadas, é possível verificar o incentivo à melhoria da produtividade dos sistemas de produção de bovinos de corte e leite. Como exemplo, o governo estadual, através do Programa de Bovinocultura Sustentável², fomenta o melhoramento genético do rebanho através de feiras pró-genética, endereçadas aos produtores interessados em aumentar o potencial produtivo do rebanho. No Estado existem empresas estruturadas, como laticínios, cooperativas, frigoríficos, bem como associação de criadores de gado de leite, de corte e fomento ao setor através de linhas de crédito. Entretanto é necessário destacar que a degradação de

² O Programa Capixaba de Bovinocultura Sustentável visa fortalecer e desenvolver a cadeia produtiva da pecuária bovina capixaba com sustentabilidade. Criado pela SEAG e Incaper, o objetivo do programa é facilitar o acesso dos pecuaristas às tecnologias de produção e de gestão, ampliando seus conhecimentos, além de estimular a diversificação das atividades econômicas do meio rural e a recuperação de áreas degradadas. Com isso, espera-se que haja o aumento da renda dos produtores rurais e de suas famílias, além da geração de empregos no campo.

pastagens tem se apresentado como um problema ambiental de impacto significativo, especialmente no Sul do Estado que, além de ameaçar a conservação do solo, podem estar relacionadas ao manejo inadequado da bacia (produção e água). Nesse sentido, o plano de descarbonização pode ser encarado como uma grande oportunidade de, além de seu objetivo central, resolver ou mitigar os problemas ambientais mencionados.

- 11. Agricultura diversificada no Estado, facilitando a integração entre sistemas produtivos.** Apesar do cultivo de café ocupar aproximadamente 46% da área das culturas agrícolas anuais e permanentes, incluindo a silvicultura, o Espírito Santo se caracteriza por possuir plantios de diferentes culturas. Apesar de na maioria serem áreas pequenas, há cultivo e mercado de hortaliças e frutas como mamão, morango, banana, coco, cacau, *citrus*, abacaxi entre outras. Toda esta variedade de cultivos agrícolas demonstra a potencialidade de diversificação e favorece a implantação de sistemas produtivos integrados e consorciados, tornando possível a ampliação e produção de alimentos mais sustentável, além de maior segurança econômica dos agricultores familiares.
- 12. Avanço no domínio tecnológico dos processos produtivos (agrícolas, florestais e pecuários) no Estado do Espírito Santo.** Devido ao trabalho de pesquisa, assistência técnica e extensão rural, realizado por instituições federais e estaduais, e empresas privadas em vários setores da agropecuária (ex:culturas do café, mamão, pimenta do reino, citricultura, pecuária leiteira e no setor florestal), são realizadas capacitações com técnicos, produtores, estudantes das ciências agrárias, que contribuem para melhoria dos índices produtivos e adesão a diversas tecnologias na propriedade rural.
- 13. Existência de diversidade climática no Estado.** O Estado do Espírito Santo destaca-se no cenário agrícola nacional, com diversificado sistema agrícola de produção, devido a variação nas condições físico-climáticas, desde clima quente e seco ao norte do Estado, ao clima frio e úmido na região serrana, o que favorece a diversificação agrícola, com a implantação de culturas de clima tropical e temperado. Ademais, com exceção da região Litoral Norte, a maioria dos municípios capixabas apresentam áreas baixas e elevadas em seus territórios. No entanto, as áreas das espécies cultivadas são pequenas, mas com grande potencial de crescimento, o que proporcionaria um uso mais sustentável, principalmente para áreas com uso do solo inadequados.
- 14. Agricultura orgânica – Bioinsumos.** A agroecologia é uma realidade no Estado, muito adequada à agricultura familiar. A prática agroecológica se encontra voltada

principalmente a olerícolas, com potencial de ampliação para frutíferas, meliponicultura e criação de galinhas caipiras, estando essas atividades em pequenas propriedades rurais. Iniciativas de encurtamento da cadeia produtiva, como as feiras agroecológicas, realizadas pelo governo do Estado têm proporcionado aos moradores dos grandes centros o acesso a produtos orgânicos certificados e incentivado essa produção, principalmente nos municípios próximos à capital. A agricultura de base agroecológica proporciona mudanças do sistema, como exemplo, a compostagem e o uso de bioinsumos que potencializam o reaproveitamento de resíduos e a redução na emissão de CO₂. O bioinsumo é uma alternativa dentro da prática agroecológica. Para muitos agricultores, além dos produtos externos destinados a produção orgânica serem caros, inacessíveis e tratarem de um problema específico, a produção do próprio bioinsumo é importante aliada dos sistemas de produção e na promoção de produção agrícola mais sustentável.

2.3 Panorama do Setor de Resíduos

Nesta seção será apresentada uma breve descrição do panorama atual dos setores de Resíduos Sólidos e Efluentes do ES. A descrição socioeconômica do setor de resíduos está direcionada para o tratamento e disposição final de diferentes tipologias geradoras de resíduos sólidos e para o tratamento de efluentes sanitários e industriais, principais responsáveis pelas emissões de GEE do setor. Em termos de Resíduos Sólidos, não são consideradas todas as tipologias, apenas as que majoritariamente são encaminhadas para aterros sanitários e, secundariamente, aquelas com potencial para produção de matéria prima para a indústria e recuperação energética, a saber: resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos de serviços públicos de saneamento (RSPS), resíduos dos serviços de saúde (RSS) e resíduos agrossilvopastoris e agroindustriais (RAA).

2.3.1 Resíduos Sólidos

Segundo o inventário nacional do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa - SEEG (OC, 2021), os aterros sanitários respondem pela maior parcela de contribuição das emissões de GEE do setor, resultante principalmente da degradação biológica anaeróbia de compostos orgânicos em biogás, o qual é formado majoritariamente por metano e dióxido de carbono (Aghdam *et al.*, 2019). No Espírito Santo, de acordo com o diagnóstico apresentado no Plano Estadual de Resíduos Sólidos - PERS-ES (ESPÍRITO SANTO, 2019) em 2019, 87% dos municípios relataram encaminhar seus resíduos sólidos

urbanos (RSU) para aterros sanitários. O mesmo destino também foi informado para resíduos industriais Classe II A, lodo de ETE, bem como grande parte dos resíduos agroindustriais (36%) e agrossilvopastoris.

Dentro dos aterros, a produção de biogás inicia com a cobertura da frente de trabalho diária da célula e pode perdurar além do encerramento do aterro, podendo ser coletado por sistemas ativos ou passivos. Durante esse período, o gás pode ser perdido superficialmente a depender das características do local do aterro e sua cobertura (como inclinações, interseções de células, trincas, fissuras, junto com coleta de lixiviados ou através da vegetação de cobertura) ou em vazamentos nas tubulações, resultando em parcelas de GEE oxidada no próprio solo e/ou emitida para a atmosfera. Nos sistemas de coleta passivo a pressão do gás gerada no interior da célula do aterro serve como força motriz para o movimento do gás, favorecendo sua perda; já em sistemas de coleta ativo, uma pressão negativa induzida mecanicamente é utilizada para extrair e controlar o fluxo de gás, evitando as perdas superficiais ou nas tubulações.

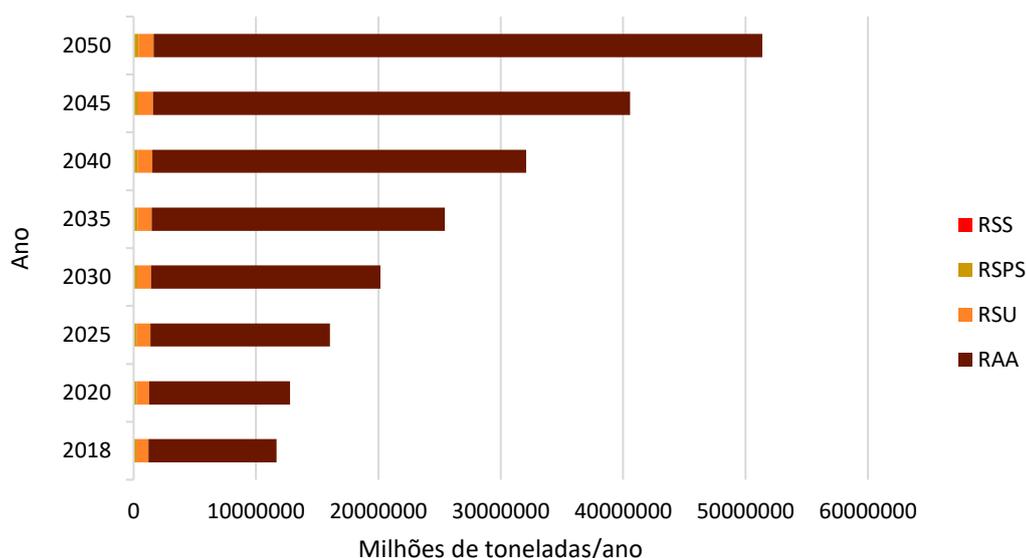
Atualmente, o ES possui 6 aterros sanitários particulares instalados nos municípios de Aracruz, Cachoeiro de Itapemirim, Cariacica e Vila Velha, e mais recentemente em Linhares, tendo também um aterro público instalado no município de Colatina. Dos aterros sanitários em operação no ES, todos promovem a queima do biogás gerado em seus interiores. Entretanto, em dois desses aterros a coleta ativa de gás os conduz a queimadores industriais com chama enclausurada tipo *Flare*. Há o caso de aproveitamento energético em um destes aterros com capacidade instalada atual de 3 MW. No entanto, 2 aterros sanitários ainda apresentam sistemas de captação e queima passiva de biogás, favorecendo emissões de GEE por desprendimento superficial e ineficiência do sistema de coleta e queima não enclausurada.

O aproveitamento energético do biogás é uma tendência internacional com forte impacto na redução das emissões de GEE, seja pela busca ativa e controle de perdas superficiais ou em tubulações, seja pelo deslocamento na produção de energia desse combustível em detrimento daquela produzida a partir de combustíveis fósseis. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES (BRASIL, 2022) definiu que, até 2040, mais de 60% do biogás gerado em processos de digestão anaeróbia e em aterros sanitários deveria ser aproveitado energeticamente e que todos os aterros sanitários deverão ter eficiência mínima de captação de biogás de 50% para aproveitamento energético.

Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo (ESPÍRITO SANTO, 2019), até o ano de 2019, 13% dos municípios do Espírito Santo ainda depositavam RSU em lixões e aterros controlados, ambos contribuindo para emissão de GEE. Cabe ressaltar que o PLANARES (BRASIL, 2022) estabeleceu como meta até 2024 o encerramento dos lixões e aterros controlados, bem como suas remediações.

Com base no Prognóstico apresentado no PERS-ES (ano base 2017), estimou-se a geração das tipologias de resíduos sólidos consideradas neste Plano e que são destinadas majoritariamente para aterros sanitários, e com base nessas informações foram projetadas as gerações a médio (2030) e longo prazo (2050), conforme apresentado na Figura 11.

Dentre as tipologias de resíduos sólidos consideradas na Figura 11, os RSU são constituídos predominantemente por uma fração orgânica (45,3%) que abrangem resíduos verdes e madeiras provenientes de podas e de limpeza urbana (RLU), bem como sobras e perdas de alimentos oriundos de atividades domésticas em residências urbanas (RDO). A degradação biológica desta fração orgânica é a principal responsável pela geração de GEE em aterros sanitários, a qual pode ser mitigada por várias estratégias, antecipativas ou remediativas.



Legenda:

RSU - Resíduos sólidos urbanos

RSPS - Resíduos dos serviços públicos de saneamento

RSS - Resíduos de serviços de saúde

RAA - Resíduos agrossilvopastoris e agroindustriais.

Figura 11. Projeção da geração das tipologias de resíduos sólidos até 2050. Fonte de dados: PERS-ES (ESPÍRITO SANTO, 2019).

Atualmente, no ES, a população média atendida com coleta convencional de resíduos aumenta em relação às faixas populacionais, sendo de 86% em municípios com até 30mil habitantes, de 94% para as faixas de 30.001 a 100.000 e de 98% para municípios com população acima de 250.001 habitantes. Percebe-se também que 49% dos municípios capixabas realizam a coleta de RLU junto com os RDO, dificultando a

separação do resíduo verde proveniente de podas, capina e roçada proveniente da manutenção de praças, parques e jardins.

A fração orgânica proveniente de RLU aparece como elemento facilmente segregável daqueles orgânicos domésticos, favorecendo soluções coletivas mais eficientes em termos de redução da geração de GEE. O Governo do Estado do Espírito Santo descreveu ações em seu Plano Estadual (PERS-ES) para implementação da coleta segregada da fração orgânica no RLU, o que favoreceria a economicidade espacial. No entanto, a fração orgânica presente no RDO apresenta grande dificuldade em ser reduzida ou segregada na fonte, de forma a viabilizar sua coleta seletiva nas cidades capixabas, favorecendo a produção de GEE em aterros sanitários quando coletada como rejeitos pela coleta convencional.

De todas as formas, os resíduos verdes e o material orgânico podem encontrar outros destinos além do aterro sanitário, tais como a aplicação em processos aeróbios de compostagem (gerando fertilizante biológico) ou mecânico biológico – metanização (para produzir combustível para geração de energia elétrica ou térmica). Esta abordagem proporcionaria a redução de perdas de GEE em aterros sanitários e reduziria emissões ao substituir fertilizantes químicos e combustíveis fósseis. Entretanto, em todos os casos, há que se verificar os arranjos locais já consolidados, bem como a distribuição espacial da geração destes resíduos, de forma a avaliar viabilidade econômica de tratamentos enclausurados, além da ambiental.

De outra parte, o restante do RSU é composto por 33,6% de resíduos recicláveis secos (plásticos, papel e papelão, vidros, metais e embalagens multicamadas) e 21,1% de outros resíduos (resíduos têxteis, couros, borrachas e resíduos sanitários) (BRASIL, 2022). No Espírito Santo, 64 municípios realizam coleta seletiva, atendendo cerca de 34% da população. A ampliação da coleta seletiva permitiria desviar os destinos destes materiais de aterros sanitários, possibilitando sua utilização como matéria secundária na indústria, resultando em economia de água e energia, os quais poderiam resultar na redução de emissões de GEE na indústria. Entretanto, ainda que houvesse uma crescente cobertura populacional da coleta seletiva, alguns aspectos dificultam esse processo, como a oneração fiscal para coleta e transporte de resíduos, a ausência ou indefinição de mercados, a carência de subsídios econômicos para o estabelecimento de processos. A deficiência na estrutura de triagem e classificação dos resíduos coletados dificultam não só a reciclagem de secos ou orgânicos, assim como o estabelecimento de processos mais eficientes em termos de emissão de GEE, além da excessiva destinação de resíduos recicláveis a aterros sanitários como rejeitos.

Por outro lado, os resíduos originados nos serviços públicos de saneamento (RSPS) são gerados em estações de tratamento de água (ETA) e esgoto (ETE). De maneira sistêmica, como também visto em outras tipologias geradoras de resíduos, 14 municípios do ES não

apresentaram quaisquer dados quanto ao serviço público de coleta e afastamento de esgoto no último Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto (SNIS, 2019), dificultando as atividades de planejamento e gestão. Com base naqueles municípios do Espírito Santo que oferecem informações para o sistema nacional, o índice de atendimento total da coleta de esgoto em 2017 foi de 52,23%, sendo que do total de esgoto coletado, 74% são tratados. Salienta-se que este último dado representa o processamento de apenas 38,4% do total de esgoto gerado no ES (SNIS, 2019).

Em termos operacionais, mais da metade dos municípios capixabas tem seus serviços de saneamento operados pela CESAN, uma empresa de economia mista que tem o governo do Estado como acionista majoritário. Já os Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAE), que correspondem a autarquias municipais com autonomia econômica, financeira e administrativa, são responsáveis pelas atividades de saneamento em 28% dos municípios capixabas. No município de Cachoeiro do Itapemirim os serviços são realizados por empresa privada, e em Colatina pelo Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento (SANEAR).

Na operação das estações de tratamento ocorre a formação de um subproduto sólido denominado lodo, considerado o principal RSPS. Com um alto potencial poluidor, o lodo de ETE é composto por 70% de materiais orgânicos (proteínas, carboidratos e gorduras) e 30% de materiais inorgânicos (metais, areia e sais) (DAVID, 2002). Os lodos de ETE também devem ser considerados no panorama das emissões de GEE, tanto quando são enviados para aterros sanitários, quanto pelo potencial para geração de energia a partir de sua queima, metanização, e/ou produção de fertilizante biológico para fins agrícolas.

Nas ETE, cada sistema é responsável pela geração de uma quantidade particular de resíduos, de modo que as estações com sistemas aeróbios geram mais lodo do que as com sistemas anaeróbios, 45 e 15 g/hab./dia, respectivamente (PEDROZA *et al.*, 2010). Apesar da maior quantidade de lodo gerada, os tratamentos aeróbios só tem a possibilidade de gerar metano quando mal dimensionadas ou operadas incorretamente.

Com base nas informações fornecidas pelas companhias de saneamento atuantes no território capixaba, as estimativas realizadas para a geração de lodo e outros RSPS no Estado indicaram um montante de 161.545 ton./ano em 2017. Além disso, 82% dos entrevistados atestaram que existe uma sazonalidade na geração, sobretudo nos meses de verão, quando sua geração é maior. Em relação a disposição final dos resíduos gerados em ETE, 77% dos gestores afirmaram dispor seus resíduos em aterro sanitário, ao passo que o restante declarou não ter conhecimento sobre como é conduzida tal etapa.

Os Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), devido às suas particularidades em relação à natureza e aos riscos atrelados ao meio ambiente e à saúde pública, são classificados,

segundo a ABNT NBR 12.808:2016, em biológicos, químicos, rejeitos radioativos, comuns e perfurantes e cortantes, e, portanto, necessitam de processos diferenciados em seu manejo, sendo considerados fontes potenciais de emissão de GEE em função de seu tratamento térmico. O levantamento das informações relativas ao manejo de RSS no Estado abrangeu hospitais, clínicas, consultórios, drogarias, farmácias, cemitérios e outros empreendimentos. Em termos quantitativos, as correlações e extrapolações dos dados adquiridos em campo possibilitaram a estimativa de uma geração total de 22.496 ton./ano em 2017, sendo “hospitais e unidades básicas de saúde” (48,45%), “estabelecimentos de ensino e pesquisa” (18,70%) e “laboratórios analíticos de produtos para saúde” (10,07%) as subtipologias que mais contribuíram com a geração de RSS no Estado. Tal condição correspondeu a um índice de geração *per capita* de 5,60 kg/hab./ano. Embora destinados a aterros sanitários dentro ou fora do Estado, os RSS gerados no território capixaba encontram a incineração e autoclavagem como tratamentos predominantes. Existem cinco unidades de tratamento de RSS por incineração e autoclave licenciadas pelo IEMA no Espírito Santo (ESPÍRITO SANTO, 2019).

Os chamados resíduos agrossilvopastoris e agroindustriais (RAA) são definidos como aqueles gerados em propriedades rurais e por empresas que produzem insumos agrícolas e que realizam seu processamento e distribuição. O primeiro grupo de geradores é representado por produtores, criadores e pescadores, enquanto as agroindústrias contemplam empresas que realizam algum tipo de beneficiamento dos produtos oriundos das atividades agrossilvopastoris. Estima-se que em 2017, a geração de resíduos agrossilvopastoris no Espírito Santo foi de aproximadamente 5.701.958 toneladas, com 69% do montante anual associado a “bovinocultura”, sendo essa a subtipologia mais representativa na geração de resíduos agrossilvopastoris, tendo como principal resíduo o próprio esterco do animal.

No setor agroindustrial, estimou-se um total de 4.240.587 toneladas de resíduos agroindustriais em 2017, sendo que cerca de 58% dos empreendimentos relatam sazonalidade na geração destes resíduos, sendo citado um aumento da geração durante os meses de maio a junho (atividades ligadas à colheita do café) e no verão, principalmente para o setor de “fabricação de bebidas”. Com uma geração anual de 2.803.142 toneladas, a indústria de “processamento e preservação de alimentos de origem vegetal” foi a subtipologia mais representativa do grupo (66,10%). Em seguida, tem-se as atividades de “beneficiamento e fabricação de produtos de origem florestal”, que acumularam um total de 1.070.267 toneladas (25,24%) (ESPÍRITO SANTO, 2019).

Em termos qualitativos, os resíduos da Classe II A (não perigosos – não inertes), que possuem uma fração biodegradável, são predominantes, e representaram 55% do setor agrossilvopastoril e 51% do setor agroindustrial. Dos empreendimentos agrossilvopastoris, 61% dos resíduos declarados são manejados dentro da propriedade, utilizando

especialmente a compostagem ou a incorporação no solo agrícola (47%), além de reutilização/reciclagem/recuperação e queima a céu aberto. Já nas agroindústrias, dentre os estabelecimentos que forneceram dados, 60% de seus resíduos são destinados externamente para reciclagem, reutilização e recuperação (compostagem, ração animal, produção de adubos, incorporação sobre o solo agrícola). Os que destinam internamente, destinam à reciclagem, reutilização e recuperação, incorporação sobre o solo agrícola, utilização em caldeira, queima a céu aberto, ração animal. Por outro lado, a maioria dos resíduos agroindustriais são dispostos em aterros sanitários (36%) ou aterros industriais (23%).

Há um forte apelo para o aproveitamento da fração orgânica dos RAA como composto biológico ou processos de metanização, indicando potencialidades na minimização de emissão de GEE a partir desses resíduos. No entanto, embora em grande proporção, a fração orgânica proveniente de empreendimentos agrossilvopastoris e agroindustriais de pequeno e grande porte tem produção sazonal e com empreendimentos geradores dispersos pelo território capixaba, dificultando a economicidade espacial de empreendimentos consorciados, proporcionando emissões difusas em sistemas pouco eficientes em termos de geração de GEE.

Conforme observado na Figura 11, os RAA representam a maior parcela dos resíduos gerados a médio e longo prazo, sendo por isso incluídos nesta discussão. No entanto, a ausência de licenciamento ambiental e fiscalização de PGRS para empreendimentos geradores de RAA dificulta a segregação de resíduos na fonte, inviabilizando tratamentos consorciados, o que amplia emissões de GEE em sistemas pouco eficientes.

Por fim, embora o Governo do Estado tenha proposto um modelo de gestão sofisticado em seu PERS-ES (ESPÍRITO SANTO, 2019), a aplicação do mesmo tem se mostrado ineficiente e financeiramente insustentável, para pequenos distritos, zonas afastadas e rurais, dificultando a universalização e integralização de destinações para RSU e efluentes sanitários, ampliando as emissões por poluição difusa e dificultando soluções coletivas mais eficientes em termos de geração de GEE.

Atrelado a isso, tem-se no Estado a baixa formação e sensibilização de profissionais lotados em estabelecimentos públicos e privados, e a descontinuidade de programas de educação e capacitação socioambientais sobre a importância da segregação na fonte para possibilitar tratamento e reciclagem de resíduos e efluentes, dificultando o estabelecimento de processos mais eficientes em termos de emissão de GEE, o que favorece a destinação em aterros sanitários e potencializa as emissões de GEE.

A queima de rejeitos de RSU como combustível, embora empregada amplamente em países desenvolvidos, encontra forte oposição devido às incertezas quanto ao impacto

social pela competição dessa destinação com a reciclagem de material proporcionada pelos catadores de materiais recicláveis, atrasando o estabelecimento de um marco legal para este fim. Este atraso acaba dificultando a redução de rejeitos enviados a aterros sanitários e dificultando a viabilidade econômica de processos mais eficientes em termos de emissão de GEE. Finalmente, a falta de exigência a produtores rurais de estabelecer um plano de gerenciamento de resíduos, bem como a dificuldade do Governo Federal em estabelecer uma estratégia que garanta uma sustentabilidade financeira aos sistemas de manejo de resíduos dificultarão a universalização e integralização do serviço, o que influencia, no Espírito Santo, na manutenção de emissões e impossibilita a implementação de sistemas mais eficientes em termos de geração de GEE.

2.3.2 Efluentes

De forma geral, as emissões de GEE em estações de tratamento de efluentes domésticos estão localizadas em estações anaeróbias e aeróbias que concentram efluentes dos domicílios em microbacias espalhadas pelo Estado, o que possibilita a economicidade de soluções para minimização de emissões e aumento da eficiência dos processos no controle de emissões de GEE. Uma vez que, os aglomerados urbanos reúnem grande parte da população capixaba, o modelo de gestão aplicado é eficiente, proporcionando economicidade para a universalização e integralização do tratamento. Devido à instituição de PMSB em 100% dos municípios capixabas e a promulgação da Lei Federal nº 14.026/2021 (que alterou a Lei Federal nº 11.445/2007), há uma forte tendência da universalização dos serviços de esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos para o território capixaba, favorecendo a minimização de emissões por poluição difusa e favorecendo soluções coletivas mais eficientes em termos de gestão de GEE.

A coleta e o tratamento dos esgotos são atividades essenciais para a manutenção da saúde da população e para a preservação do meio ambiente. Dentre as unidades do sistema de esgotamento sanitário destacam-se as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), que são unidades que recebem os efluentes líquidos domésticos, comerciais e/ou industriais, e que por sua natureza físico-química e biológica necessitam de tratamento antes de serem devolvidas aos corpos hídricos.

No Estado do Espírito Santo, 2.312.515 habitantes (57% da população) são atendidos pelo serviço de esgotamento sanitário. Segundo dados coletados em 2019 junto às 78 prefeituras municipais, existem 185 ETES no Estado, que juntas tratam 73,21% do esgoto coletado (57,86% do esgoto gerado no Estado é coletado) (ESPÍRITO SANTO, 2019; SNIS, 2021), colocando o Estado em 8º lugar nacional em relação à coleta de esgoto e em 19º em relação ao tratamento do esgoto coletado (SNIS, 2022).

A operação das ETEs é realizada pela Cesan em cerca de 46% dos municípios, pelos SAAE em 36%, em 9% diretamente pelas prefeituras municipais e em 9% por outras organizações (Figura 12). As unidades instaladas possuem vazões licenciadas que variam de 0,48 a 703,9 L/s, e tratam um volume total de aproximadamente 92 milhões de m³/ano (ESPÍRITO SANTO, 2019; SNIS, 2021).

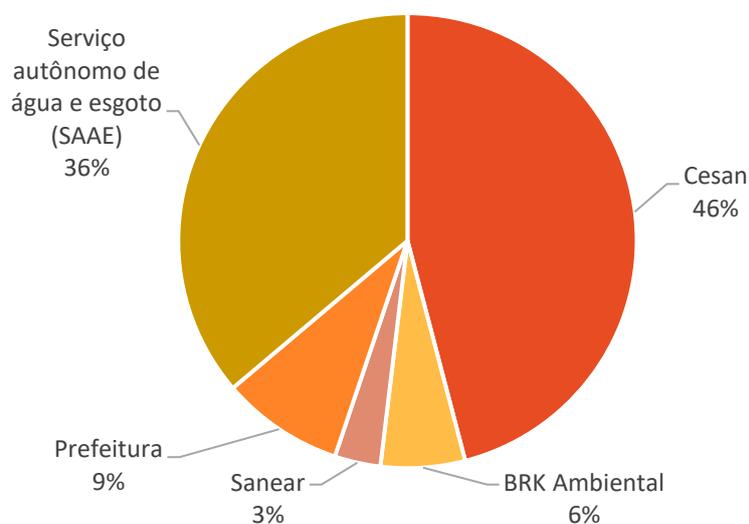


Figura 12. Tipo de operador das Estações de Tratamento de Esgoto do Espírito Santo.
Fonte de dados: Espírito Santo (2019).

Em relação aos tipos de tratamento, verifica-se uma variedade de etapas e associações destas, conforme mostrado na Figura 13 (ESPÍRITO SANTO, 2019). As ETEs do tipo anaeróbias possuem um potencial maior de geração de GEE do que estações de tratamento aeróbias, sendo que os tratamentos anaeróbios de efluentes sanitários do tipo lagoa anaeróbia, tanque séptico seguido de tratamento anaeróbio e reator UASB representam 47% do total de estações instaladas no Estado, algumas contendo dispositivos *flare* para queima do biogás gerado. Embora a recuperação do biogás gerado nestas estações e sua conversão em energia (térmica ou elétrica) possa ser útil no processo de redução da emissão de GEE - colaborando não só para aumentar a eficiência energética das estações, como também a viabilidade do saneamento básico do país, seu processo de coleta e queima para o aproveitamento energético podem se mostrar inviáveis. Já nos tratamentos aeróbios de efluentes sanitários é possível a aplicação de programas de eficiência energética nos sistemas de aeração mecanizada para redução de emissão de GEE com base na redução de consumo elétrico.

As estações de tratamento de efluentes industriais estão instaladas junto aos geradores, espalhadas pelo Estado, proporcionando emissões difusas em sistemas pouco eficientes na gestão de GEE, resultando na inviabilidade de instalação consorciadas mais eficientes em termos de emissões de GEE e consumo de energia. Cabe ressaltar como limitação que os dados apresentados não incluem efluentes industriais em função da ausência de informações, apesar do método de estimativa adotado pelo SEEG considerar as seguintes atividades industriais: produção de carne avícola, bovina e suína; produção de celulose; produção de cerveja; e produção de leite cru e leite pasteurizado.

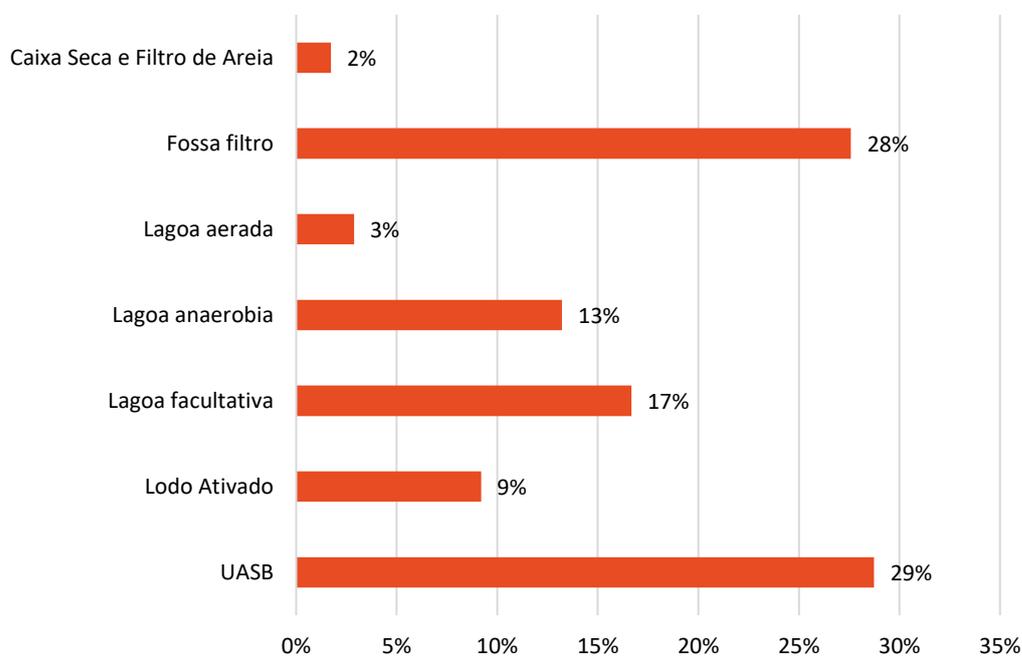


Figura 13. Etapas de tratamento de esgoto presentes nas Estações de Tratamento de Esgoto do Espírito Santo. Fonte de dados: Espírito Santo (2019).



3

**ANÁLISE DA
MATRIZ
ENERGÉTICA**

Um aspecto importante para a definição de rotas para a neutralização das emissões de GEE é o conhecimento detalhado da matriz energética da região. A produção de energia movimenta o crescimento da economia em toda sua diversidade, que abrange o setor público, industrial, comercial, transporte e agropecuário, incluindo-se também o setor residencial, que tem se tornado cada vez mais um participante ativo na matriz de energia elétrica. Uma matriz energética bem planejada e baseada em fontes renováveis traz soberania e desenvolvimento ao Estado, mas a tomada de decisões para o planejamento depende do conhecimento atual da produção e consumo de energia pelos diversos setores da economia, da infraestrutura existente, do levantamento da contribuição para as emissões de CO₂ associadas à conjuntura e planejamento da matriz energética nacional. Portanto, é necessário realizar um diagnóstico sobre a situação do Estado do Espírito Santo em relação a essa matriz.

A produção de energia primária (fontes de energia extraídas diretamente da natureza, sem processamento) no Estado, em 2020, é apresentada na Figura 14. Observa-se a predominância das fontes não renováveis na produção de energia, em especial petróleo e gás natural, grande parte desta energia é consumida pelos diversos setores da economia do Estado, contribuindo com as emissões de GEE. As fontes primárias não renováveis que participam da matriz energética do Espírito Santo são petróleo, gás natural, carvão vapor e carvão metalúrgico, enquanto as fontes renováveis são lixívia (licor negro), energia hidráulica, lenha/cavaco/resíduo de madeira, produtos da cana (caldo, bagaço), entre outras. O Estado não possui refinarias, portanto, o petróleo aparece na matriz de produção de energia, mas é exportado para outros estados para seu refino e retorna para o Estado, já processado como a gasolina e o óleo diesel, por exemplo.

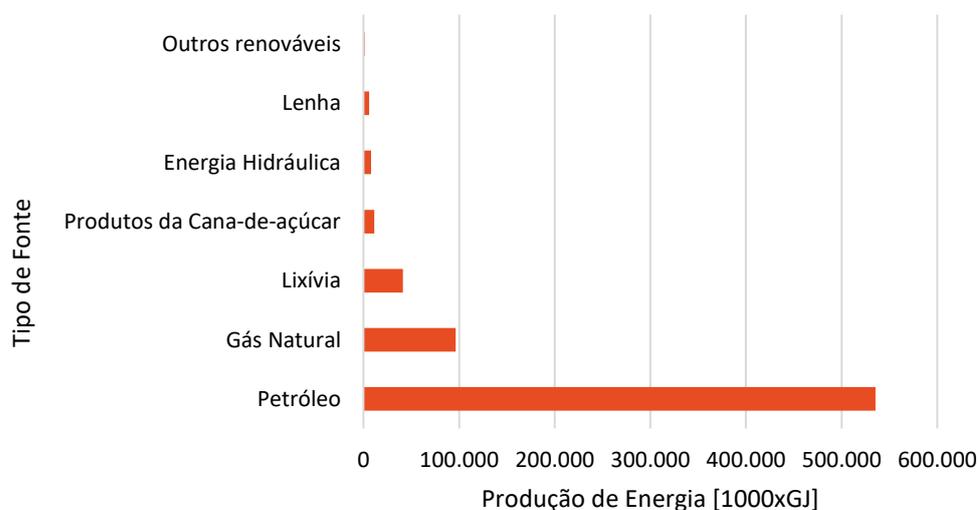


Figura 14. Produção de energia primária em 2020 no ES. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).

A Figura 15 apresenta o consumo final de energia, distribuído por fontes primárias e secundárias no Espírito Santo, em 2020. Na atual formação da matriz de energia do Estado, o consumo de energia elétrica em 2020 representou 18,24% do total de energia consumida. As fontes primárias, principalmente carvão mineral e gás natural, junto com as fontes secundárias coque de carvão mineral e óleo diesel, dominam o consumo de energia no Estado, apresentando uma matriz baseada em combustíveis fósseis, contribuindo para emissões de GEE.

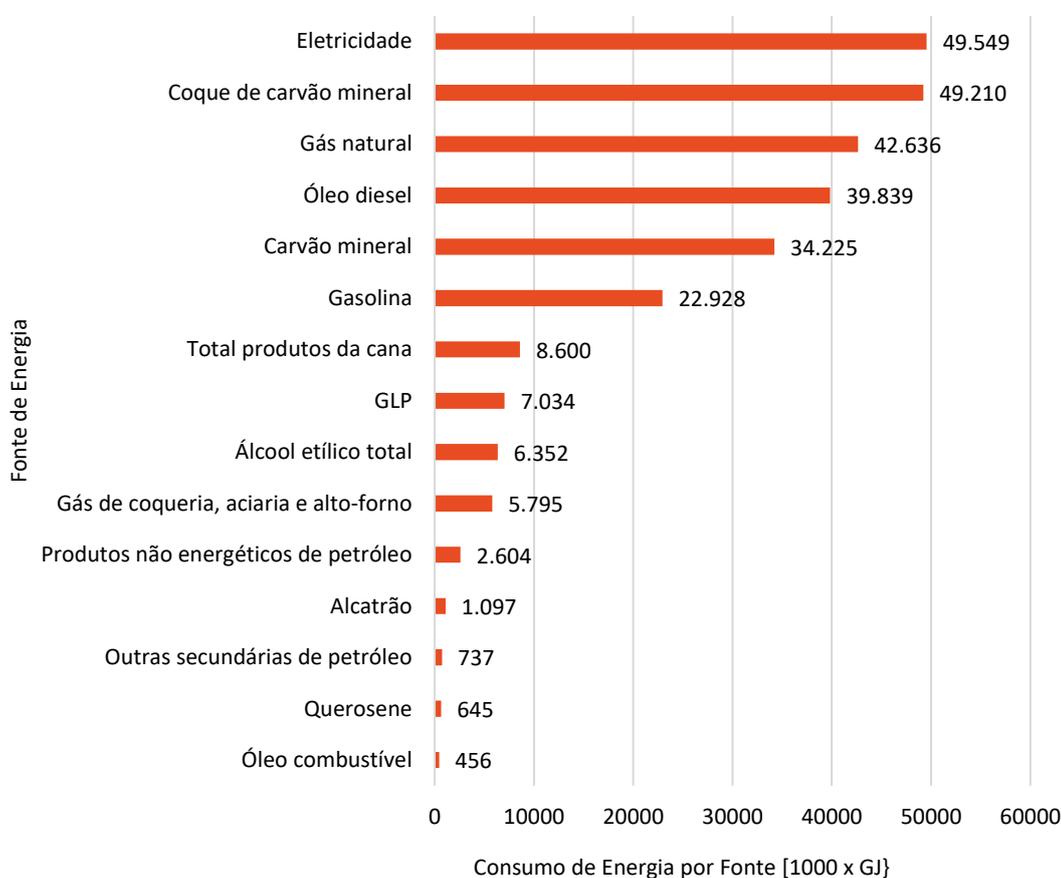


Figura 15. Consumo Final Energético no Espírito Santo por fonte em 2020. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).

A Figura 16 mostra o consumo final energético no ES por setor da economia. Pode-se observar que o Setor Industrial é o maior consumidor (67%), seguido pelo Setor de Transportes (21,3 %) e Setor Energético (10,95%). A soma dos setores Residencial, Público, Comercial e Agropecuário corresponde a 11,5% do total.

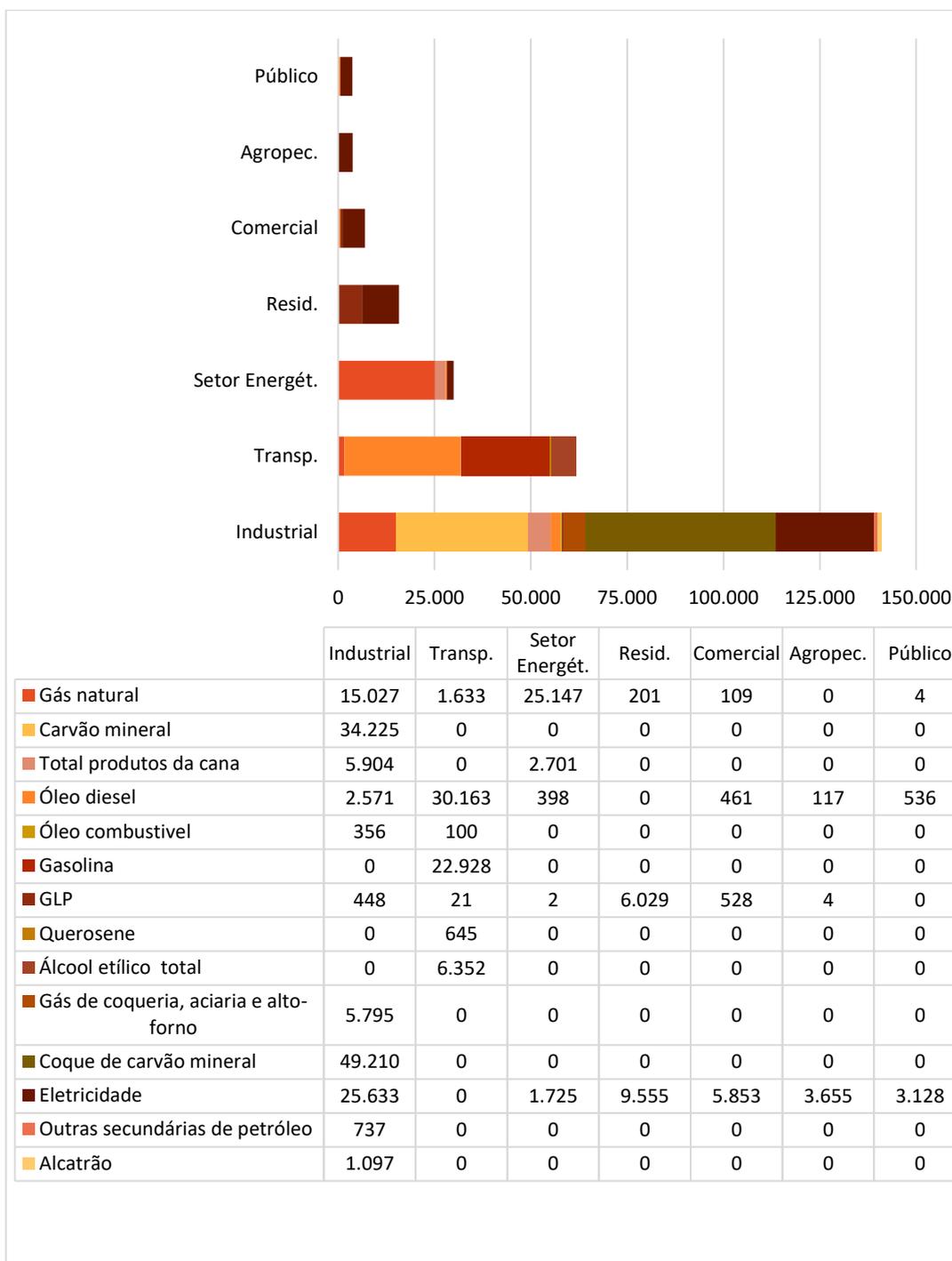


Figura 16. Consumo final energético no ES por Setor da Economia e Fonte em 2020, em 1000 x GJ. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).

Outra forma de analisar as informações apresentadas na Figura 16 é considerar uma análise dos setores consumidores pelo tipo de fonte. A Figura 17 traz a participação percentual de cada Setor da Economia no consumo final energético de cada tipo de fonte no ES. É possível observar que uso de fontes ligadas a combustíveis fósseis está principalmente ligado a indústria e transportes, com a exceção do GLP.

É possível observar, também, que os setores Agropecuário, Público, Comercial e Residencial são aqueles majoritariamente dependentes de energia elétrica representando 44,8% do consumo da energia elétrica total. Como, na matriz de energia elétrica do Espírito Santo, as fontes não renováveis predominam, a eficiência energética, assim como a mini e microgeração se encontram como setores que devem ser observados e incentivados a se comprometerem com o uso racional da energia elétrica e a se tornarem também geradores a partir do mercado de geração distribuída, reduzindo o consumo de energia a partir da rede concessionária local – lembrando que a fonte dominante destas instalações de mini e microgeração é a fotovoltaica, uma fonte renovável e não emissora de GEE.

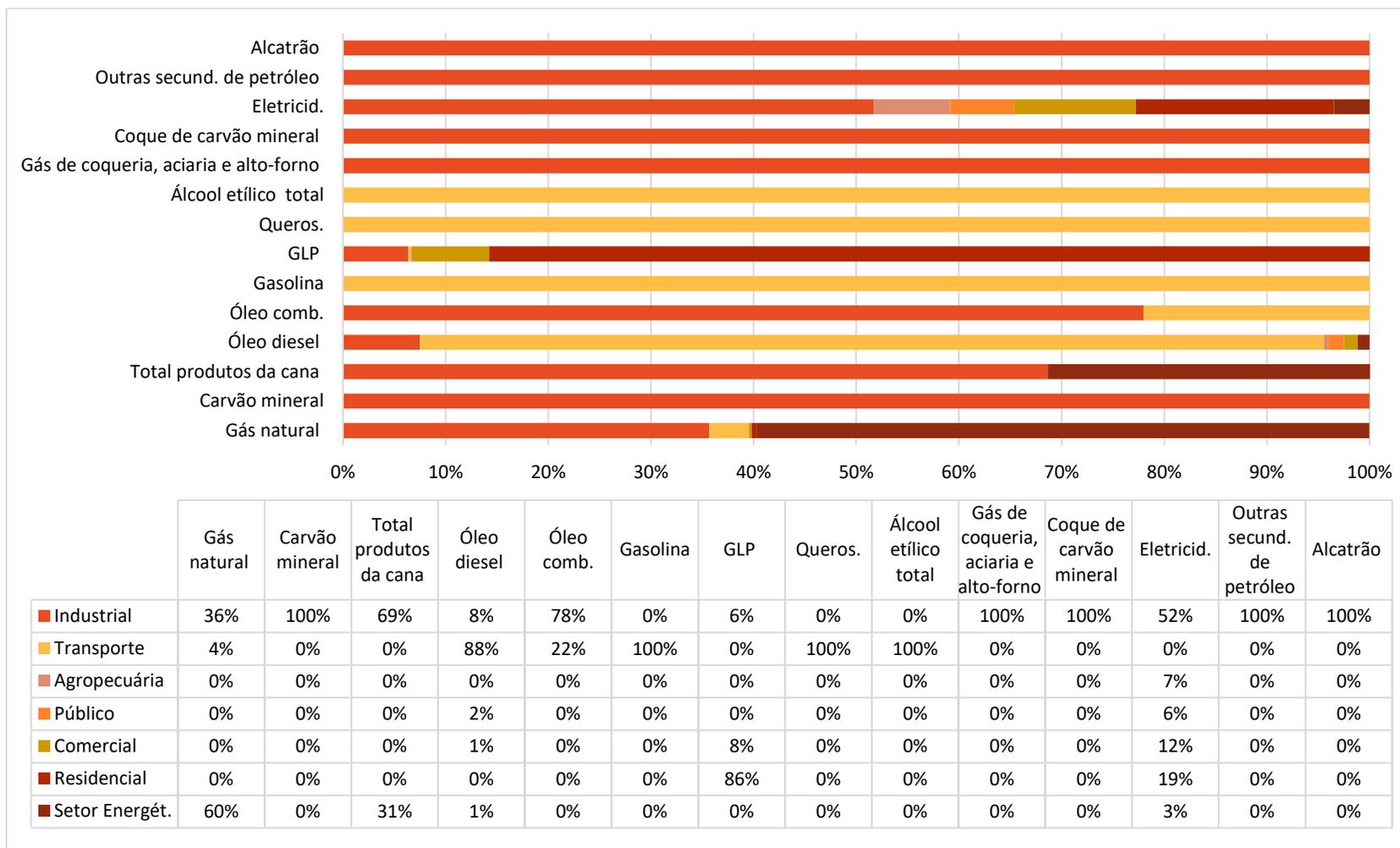


Figura 17. Participação % de cada Setor da Economia no consumo final energético de cada tipo de fonte no ES, em 2020. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).

O Setor Industrial consome 51,73% da energia elétrica do Estado. Algumas das grandes indústrias localizadas no Estado participam da matriz de energia elétrica como figura de Autoprodutor de Eletricidade (APE) ou Produtor Independente de Eletricidade (PIE). Algumas indústrias usam como fonte os combustíveis gerados durante o processo de produção da indústria, a exemplo do gás de coqueria, aciaria e alto-forno e licor negro. Atualmente, dos quatro autoprodutores (potência total outorgada de 249,42 MW) que fazem parte da matriz de energia elétrica do Espírito Santo, duas usinas são do Setor Industrial, sendo uma com potência outorgada igual a 210,4 MW, que utiliza o licor negro como combustível, e outra com potência outorgada igual a 10,22 MW, que utiliza o gás natural. Atualmente, também fazem parte da matriz energética do Estado vinte e cinco Produtores Independentes de Energia (PIE). Três desses PIEs pertencem ao Setor Industrial, com potência outorgada de 405,4 MW, da qual 8,14% correspondem à utilização de bagaço de cana, uma fonte renovável, e 91,86% provêm de calor de processo e outros materiais energéticos de petróleo.

A Figura 18 apresenta o consumo do Setor Industrial por ramo de atividade. A produção de Ferro-gusa e aço é a atividade de maior consumo de energia, seguida pela atividade de Mineração e Pelotização. A atividade de produção de Ferro-gusa e aço é grande consumidora de carvão mineral, enquanto a atividade de Mineração e Pelotização é grande consumidora de gás natural. É importante salientar que as principais empresas responsáveis pelas atividades de produção de Ferro-gusa e aço e Mineração e pelotização no Estado, já assumiram compromisso ambiental de neutralizar suas emissões de GEE até 2050. Estes compromissos podem ter um impacto significativo sobre o perfil de emissões da matriz energética do ES.

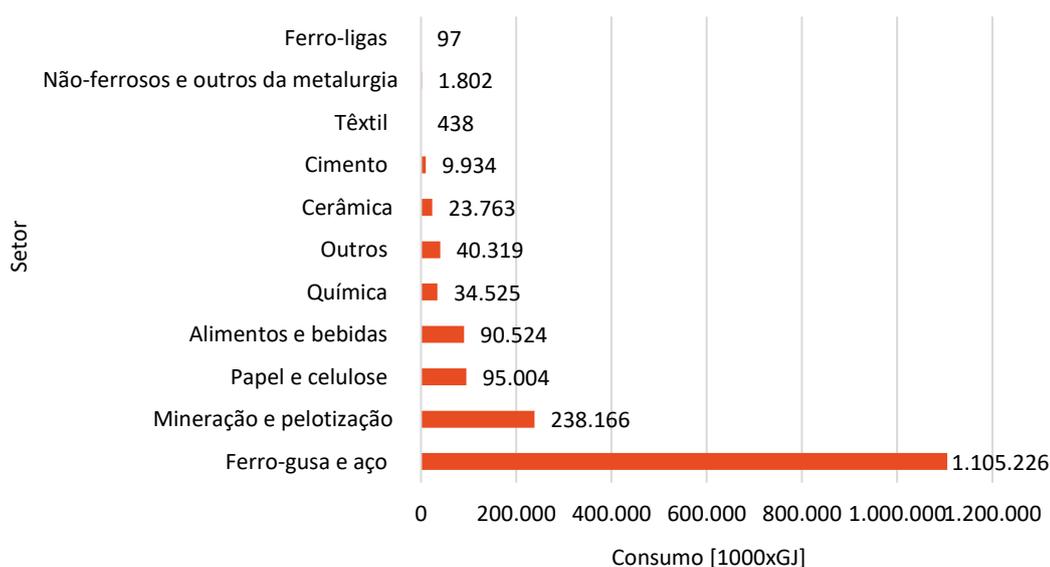


Figura 18. Consumo do Setor Industrial por Ramo de Atividade em 2020. Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022).

3.1 Matriz de energia elétrica

A Figura 19 apresenta a evolução da geração e do consumo de energia elétrica no ES (sem geração distribuída). É possível observar que a matriz de geração do Estado atende entre 45% e 60% do consumo de energia elétrica, havendo uma importação anual de 21.892 TJ (6.081 GWh) em 2020.

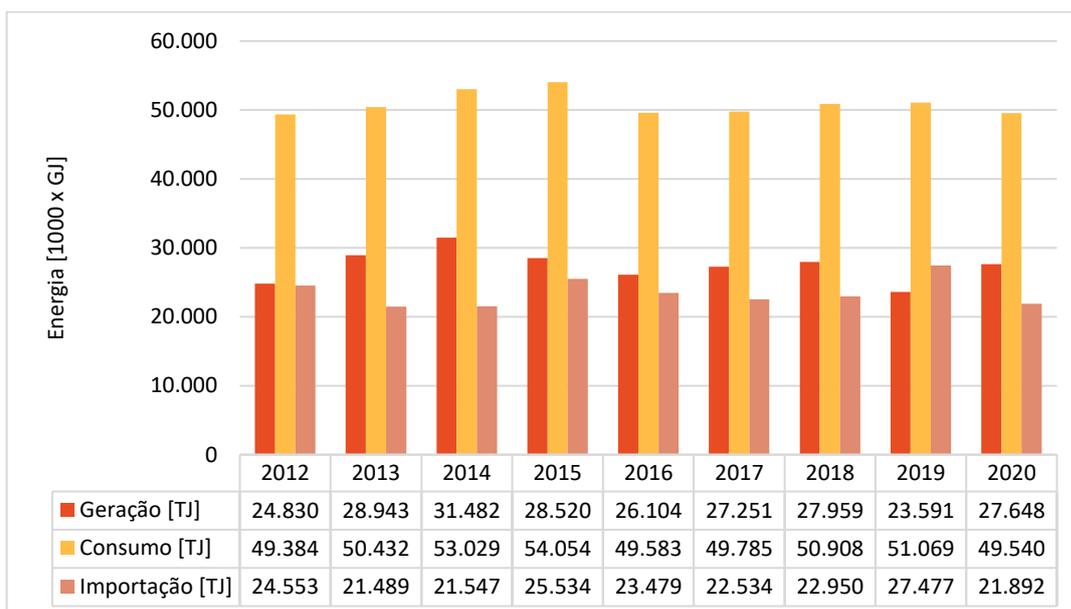


Figura 19. Evolução da geração e do consumo de energia elétrica no ES (sem geração distribuída). Fonte de dados: BEES 2021 Ano Base 2020 (ARSP-ES, 2022)

A Figura 20 apresenta a evolução da capacidade instalada de geração no Espírito Santo entre 2002 e 2022. A maior parcela da capacidade instalada de geração de energia elétrica do Estado está relacionada a Usinas Termoeletricas (59,0% no primeiro trimestre de 2022), seguidas pelas Hidrelétricas, responsáveis por 29,9%. Também há um significativo aumento da capacidade instalada de geração de energia elétrica por usinas solares fotovoltaicas, que corresponderam por 10,8% da capacidade instalada total no primeiro trimestre de 2022.

As Tabelas 2 e 3 apresentam a potência instalada a partir do regime de exploração. A Tabela 2 apresenta os dados para Autoprodutores de Energia, Produtores Independentes de Energia, Registro e Serviço Público, enquanto a Tabela 3 apresenta os dados para Geração Distribuída. É possível observar, que dentre os geradores não-distribuídos (Tabela 2), as fontes de origem fóssil correspondem a 49,63%, enquanto as fontes de biomassa, hídrica e solar correspondem a 17,02%, 33,01% e 0,35%, respectivamente. Atualmente, a autoprodução (13,9%) e a produção independente (69,7%) dominam a matriz de energia elétrica do Estado, sendo predominantemente associada à combustíveis fósseis.

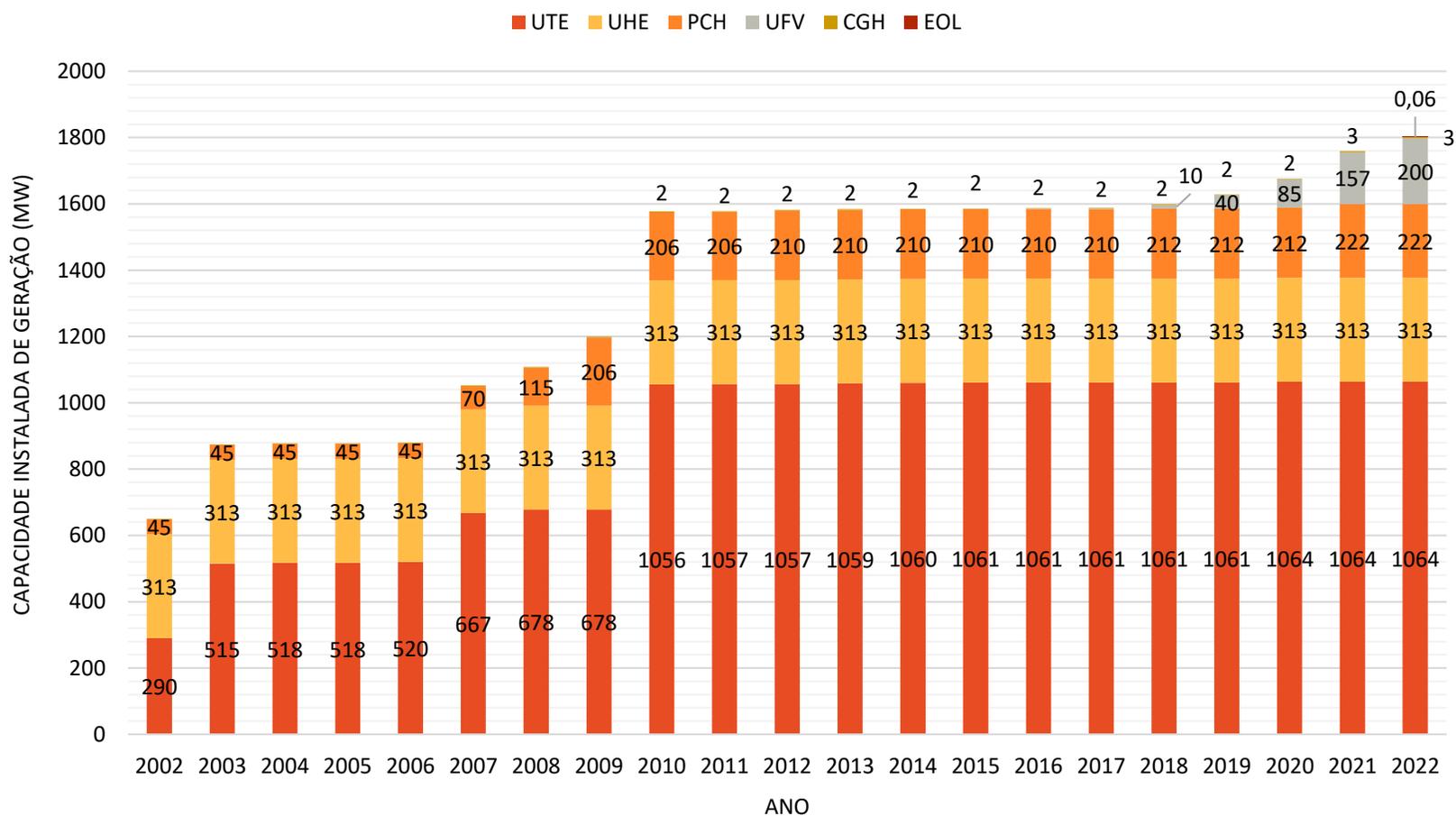


Figura 20. Evolução da capacidade instalada de geração no Espírito Santo (MW) - 2002 a 2022. UTE - Usina Termoelétrica, UHE – Usina Hidrelétrica, PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas, UFV – Usina Solar Fotovoltaica, CGH - Centrais Geradoras Hidrelétricas, EOL – Eólica por Cinética dos Ventos. Fonte: ASPE (2022b).

Tabela 2. Matriz de potência instalada de geração de energia elétrica do ES a partir do regime de exploração e por origem do combustível: Autoprodutor de Energia (APE)³, Produtor Independente de Energia (PIE)⁴, Registro (REG) e Serviço Público (SP). Fonte de dados: Dados do Sistema de Informação de Geração da Aneel – SIGA.

	BIOMASSA			FÓSSIL			HÍDRICA Potencial hidráulico		SOLAR Radiação solar		
	Usinas	Combustível	P [MW]	Usinas	Combustível	P [MW]	Usinas	P [MW]	Usinas	P [MW]	
APE	1	Floresta Licor negro	210,4	1	Gás natural	10,22	2	28,8	-	-	
PIE	2	Agroindustrial Bagaço de cana	66,0	1	Petróleo Óleo combustível	174,6	18	283,5	-	-	
				1	Petróleo Outros energ. petróleo	225,1					
				1	Outros fósseis Calor de processo OF	147,3					
				3	Gás natural	352,5					
REG	1	Bagaço de cana	3,2	21	Petróleo Óleo diesel	22,6	-	-	11	5,7	
	1	Floresta Carvão vegetal	3,5	2	Gás Natural	5,7	-	-			
SP	-	-	-	-	-	-	2	253,0	-	-	
Total biomassa			283,1	Total fóssil			825,53	Total hídrica	565,3	Total solar	5,7
TOTAL POTÊNCIA INSTALADA [MW]						1.679,632					

³ Autoprodutor é uma pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo, mediante autorização da ANEEL, comercializar seus excedentes de energia (ANEEL,2022).

⁴ Produtor independente de energia elétrica é uma pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que tenham recebido concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco (ANEEL,2022).

Tabela 3. Geração distribuída no ES quanto a Classe de consumo da unidade consumidora onde a Geração Distribuída está instalada, Tipo e Fonte. CGH – Central Geradora Hidroelétrica, EOL – Central Geradora Eólica, UFV – Central Geradora Solar Fotovoltaica, UTE- Usina Termoelétrica. Fonte de dados: ANEEL (2022b).

Classe	Qtd Usinas GD	Potência Instalada [kW]
Comercial	2.154	64.985
Industrial	544	20.129
Poder Público	103	8.269
Resid.	11.104	71.886
Rural	2.248	33.673
Serviço Público	1	14
Total	16.154	198.958

Tipo	Qtd Usinas GD	Potência Instalada [kW]
CGH	1	16
EOL	2	57
UFV	16.143	195.588
UTE	6	3.297
Total	16.154	198.958

Fonte de energia	Qtd Usinas GD	Potência Instalada [kW]
Biogás RA	6	3.297
Cinética do vento	4	57
Potencial hidráulico	1	16
Radiação solar	16.143	195.588
Total	16.154	198.958

A matriz de energia elétrica do Estado terá sua capacidade aumentada com a expansão de 2 termelétricas no Estado (UTE Viana e UTE LORM), com a inclusão de outros grupos geradores a gás natural, além da construção de uma outra termoelétrica também a gás natural, a UTE Povoação. Serão 148,5 MW instalados no total, ampliando o potencial de geração do ES. Além disso, serão implantadas duas novas PCHs com potência instalada de

18,0 MW. A construção dessas centrais ainda não foi iniciada, mas já foram outorgadas⁵. Estas usinas agregarão uma geração total de 973 MW baseada em fontes não-renováveis e 872 MW em fontes renováveis, correspondendo a 53% e 47% da geração total, respectivamente.

O Estado tem 16.154 usinas de mini e microgeração distribuídas por 78 municípios, chegando a uma potência instalada de 198,958 MW. A Tabela 3 apresenta informações sobre a geração distribuída no Estado quanto à classe de consumo da unidade consumidora onde a Geração Distribuída está instalada, o tipo de usina e a fonte de energia para a geração. Incluindo a geração distribuída, o total de potência instalada no Estado é de 1.991,02 MW dos quais 1.792,06 MW corresponde à potência instalada de geração centralizada, 90% do total, e 198,96 MW corresponde à potência instalada de geração distribuída, 10% do total, considerando as novas usinas.

É necessário destacar que o lançamento da Resolução Normativa 482 de 2012 pela Aneel, e suas regulamentações com a Lei 14.300 de 2022 (BRASIL, 2022), impulsionaram o desenvolvimento das usinas por meio de Geração Distribuída em todo o Estado, principalmente as fotovoltaicas, superando 10% da potência instalada do ES em 2022.

A crise hídrica acentuada em 2021 estimulou o ONS a organizar leilões. Desde então, ocorreram dois leilões. Um leilão emergencial permitiu a expansão de duas termelétricas existentes desde 2010 (UTE Viana e UTE LORM) com mais quatro grupos geradores cada, todos a gás natural, passando a contar com um total de 24 e 28 grupos geradores, respectivamente. Além disso, também foi construída uma nova termelétrica (UTE Povoação), com oito grupos geradores a gás, decorrente do mesmo leilão. Vale ressaltar que foram contemplados 14 projetos de termelétricas, onde o Espírito Santo, com três, só perdeu para o Rio de Janeiro, com seis. Este leilão emergencial contratou estes projetos

⁵ A usina PCH Timbuí Seco, com 10MW, em Santa Leopoldina e Santa Maria de Jetibá – ES, se encontra em fase de Construção não Iniciada, com previsão de entrada em operação para maio de 2025. Não celebrou contrato de uso do sistema de transmissão/distribuição, não participou de nenhum leilão e o cronograma está atrasado conforme informações obtidas no *site* de Acompanhamento da implantação das centrais geradoras de energia elétrica da Aneel. O mesmo *site* também informa que a PCH de Bom Jesus, com 8MW, em Construção não Iniciada tem previsão de entrada em operação em julho de 2025, já tendo participado de leilão em 2019 e está com cronograma atrasado. Link: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMGYyZWlONzgtMGRlOC00M2ZjLTljZDYtZTVkYjJjZjkxZDBkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmM0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>.

por quatro anos (até 2026), com entrada em operação ainda em 2022⁶. Também no ano de 2021 ocorreu o leilão de energia, quando as duas termelétricas (UTE Viana e UTE LORM), com contrato até 2024 e 2025, respectivamente, conseguiram renovar o contrato por mais 15 anos. Vale lembrar que na UTE Viana, localizada na Grande Vitória, possuía todos os 20 grupos geradores a óleo combustível antes da expansão. Já a UTE LORM, situada em Linhares, no norte do estado, sempre operou com gás natural.

O aumento da capacidade instalada, em janeiro de 2022, para aproximadamente 1,61 GW, garantiu atendimento suficiente para a demanda média de eletricidade do Estado no citado mês⁷. Entretanto, apesar desta capacidade instalada, a geração não acompanhou a capacidade instalada devido a diversos fatores. Um dos fatores é que algumas fontes não são energia firme. Outro a destacar é a forte contribuição das termelétricas com fontes fósseis que, apesar de representarem energia firme, dependem de ordens de despacho do ONS, o que pode levar a uma capacidade ociosa. Um exemplo claro é a UTE Viana, a óleo combustível, que nos últimos anos não tem gerado a quantidade que gerou em 2013 e 2014. Ou seja, a crise econômica que iniciou em 2015 fez com que o aumento crescente da demanda de energia elétrica também desacelerasse, crise esta, agravada pela pandemia. Vale também lembrar que uma parte significativa desta capacidade instalada depende de combustíveis que são coprodutos de atividades industriais, como gases siderúrgicos e lixívia, fontes que dependem da atividade industrial dos respectivos setores. Tudo isso, entre outros fatores, faz com que o Estado não gere toda a demanda elétrica necessária. Todo este cenário e retrospectiva deve ser levado em conta num planejamento de longo prazo, considerando 2050.

⁶ <https://www.agazeta.com.br/es/economia/nova-termelétrica-e-expansão-de-2-usinas-devem-criar-295-empregos-no-es-1021>.

⁷ <https://www.agazeta.com.br/es/economia/es-ja-produz-energia-alternativa-capaz-de-abastecer-tres-cidades-0322>.

3.2 Gás natural

Conforme apresentado na Figura 15 (pág. 53), o gás natural é a terceira maior fonte de energia consumida no ES, superada apenas por eletricidade e carvão mineral. O gás natural possui participação importante na indústria minero-siderúrgica e geração de eletricidade, representando uma parcela considerável (16%) da matriz energética do ES, principalmente na geração de energia elétrica.

Segundo o Instituto de Desenvolvimento Industrial do Espírito Santo (IDEIES, 2022), em 2020, o ES alcançou 30,2 bilhões de m³ de reservas de gás natural *offshore*. O ES possui uma vida útil das reservas de gás natural *offshore* de 13 anos⁸, superior à vida útil média das reservas nacionais, que é de nove anos. As reservas *onshore* de gás alcançaram um volume de 386 milhões de m³. O ES possui uma vida útil das reservas de gás natural *onshore* de 14 anos, acima do indicador brasileiro que registrou 12 anos. Entretanto, existem limitações na oferta de gás natural para atender as demandas já existentes, principalmente com o aumento de consumo projetado para o uso de gás natural como combustível de transição⁹, além de a produção Estadual estar apresentando gradual declínio nos últimos anos (IDEIES, 2022).

A análise das reservas e a utilização de gás natural é importante, pois pode ser uma rota relevante para a transição energética para curto e médio prazo, uma vez que possui menor taxa de emissão de GEE por energia gerada, comparada a outros combustíveis fósseis como carvão mineral ou óleo combustível. Entretanto, é importante ressaltar que o uso de gás natural diretamente para a produção de energia, sem a utilização de técnicas de mitigação de emissões de CO₂ como CCUS (*Carbon Capture, Utilization and Storage*), não constitui uma solução de longo prazo. Soluções mais efetivas são representadas pelas rotas ligadas a combustíveis com neutralidade de carbono, como hidrogênio verde, biocombustíveis, biogás, ou energia eólica e solar. A queima de gás natural gera emissões de GEE inferiores à queima de óleo e carvão mineral, mas ainda representa uma emissão significativa de CO₂ para a atmosfera, sendo necessária a utilização de técnicas de compensação e/ou captura de emissões para garantir a neutralidade de GEE a longo prazo.

⁸ Indicador que avalia a vida útil das reservas que sustentará a produção no decorrer do tempo, sendo calculado por meio da relação entre a reserva e a produção de gás natural. Quanto maior o indicador, maior o tempo disponível de produção dos insumos.

⁹ Jornal A Gazeta 27/06/2022 – “ArcelorMittal Tubarão está atrás de gás natural. E não acha”. <https://www.agazeta.com.br/colunas/abdo-filho/arcelormittal-tubarao-esta-atras-de-gas-natural-e-nao-acha-0622>

Segundo Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), o papel do gás natural como possível combustível de transição está principalmente relacionado à existência de infraestrutura já existente e amortizada em diversos países, além do baixo custo de adaptação das instalações industriais que utilizam matrizes mais poluentes, como o óleo combustível e o carvão. Além disso, a infraestrutura existente de transporte e armazenamento de gás pode ser reaproveitada para o hidrogênio e biometano, assim como uma certa proporção de hidrogênio pode ser misturada ao gás natural (IEA, 2021). De fato, a política de implementação de hidrogênio da Comunidade Europeia prevê que a injeção de hidrogênio na rede de gás pode reduzir significativamente os custos iniciais de capital dos projetos de hidrogênio (EU, 2021).

Por outro lado, alguns autores (SILVA e DELGADO, 2018) apontam que a queda nos custos das tecnologias de geração de energia elétrica renovável, que já está sendo observada, pode contribuir para que a transição energética seja mais acelerada, levando a uma transição direta de óleo e carvão para fontes renováveis, como hidrogênio verde, biocombustíveis, eólica ou solar, sem passar pela transição pelo gás natural em alguns setores. Desta forma, a rota para transição deve ser cuidadosamente e periodicamente avaliada com base na avaliação dos custos tecnológicos para cada setor.

É necessário destacar que, com base nas informações apresentadas, a participação do gás natural na matriz de energia elétrica do Estado está aumentando. Além das UTEs já citadas no texto, consultando os Empreendimentos em Estudo na base do SIGA, existem 9 termelétricas com potência total de 3.732,01MW, em despacho de registro de requerimento de outorga (DRO), com data de publicação entre os anos de 2014 a 2021¹⁰. Conforme discutido neste documento, o gás natural pode se apresentar como um elemento de transição, mas não se pode deixar de considerar que a queima de gás natural contribui significativamente com emissão de CO₂ para a atmosfera, mesmo emitindo menos que a queima de óleo e carvão mineral. Para garantir a participação a longo prazo do gás natural na matriz de energia elétrica do Estado, seu uso deve estar associado à utilização de técnicas de mitigação de emissões de CO₂. Além disso, existe a restrição da vida útil das reservas de gás natural do Estado de 13 anos para o gás natural *offshore* e 14 anos para o gás natural *onshore* e oferta no mercado correlacionada com a política das empresas comercializadoras. Estas condições representam aspectos significativamente relevantes para a posição do gás natural como elemento de transição.

¹⁰ Fonte Aneel. Link: <https://bit.ly/2IGf4Q0>.



CCUS

Carbon, Capture, Utilization and Storage

Em português podemos traduzir CCUS para a captura, utilização e armazenamento de carbono. O CCUS envolve a captura de CO₂ de grandes fontes pontuais, incluindo geração de energia ou instalações industriais que usam combustíveis fósseis ou biomassa como combustível. O CO₂ também pode ser capturado diretamente da atmosfera.

Se não for usado no local, o CO₂ capturado é comprimido e transportado por oleoduto, navio, trem ou caminhão para ser usado em uma variedade de aplicações ou injetado em formações geológicas profundas (incluindo reservatórios esgotados de petróleo e gás ou formações salinas) que capturam o CO₂ para armazenamento permanente.

De acordo com a análise da *International Energy Agency* (IEA, 2021b), as aplicações de CCUS nos diversos setores produtivos possuem custos significativamente diferentes. O custo pode variar muito por fonte de CO₂, de uma faixa de US\$ 15-25/t CO₂ para processos industriais que produzem fluxos de CO₂ “puros” ou altamente concentrados (como produção de etanol ou processamento de gás natural) até US\$ 40-120/t CO₂ para processos com fluxos de gás “diluídos”, como a produção de cimento e geração de energia.

Capturar CO₂ diretamente do ar é atualmente a abordagem mais cara, mas pode desempenhar um papel único na remoção de carbono. Algumas tecnologias de captura de CO₂ já estão comercialmente disponíveis, enquanto outras ainda estão em desenvolvimento, e isso contribui ainda mais para a grande variedade de custos. A análise da IEA aponta também que existe um potencial considerável para reduzir os custos ao longo da cadeia de valor do CCUS, especialmente porque muitas aplicações ainda estão nos estágios iniciais de comercialização. A experiência indica que o CCUS deve se tornar mais barato à medida que o mercado cresce, a tecnologia se desenvolve, os custos financeiros diminuem, as economias de escala são alcançadas e a experiência de construir e operar instalações de CCUS se acumula. Esse padrão já foi observado em tecnologias de energia renovável nas últimas décadas. Para saber mais informações sobre CCUS e seu custo, consulte: <https://www.iea.org/reports/about-ccus> e <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive>.

3.3 Transportes

O Plano Nacional de Energia 2050 – PNE 2050 (Brasil, 2020), desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do governo federal, afirma que o setor de transporte é responsável por cerca de 1/3 do consumo final de energia no Brasil, além de toda importância econômica e social que o setor tem para deslocar cargas e pessoas pelo país. Assim, atenção especial ao setor de transporte deve ser dada e ações que levem à redução de emissões de GEE, mantendo a qualidade de sua função econômica e social, são vitais.

Segundo o Balanço Energético do ES (ARSP-ES, 2022), o setor de Transportes corresponde a 23,5% do consumo de energia da matriz energética do ES, sendo responsável por 100% do consumo de gasolina, querosene e etanol, 88% do consumo de óleo diesel e 4% do consumo de gás natural.

A Figura 21 apresenta a evolução da frota veicular no ES com base na quantidade acumulada de veículos emplacados por ano e por tipo de veículo, evidenciando que 53,9% dos veículos emplacados até 2020 são carros de passeio e 29,6% motos. O emplacamento de motos tem sido crescente devido ao baixo custo de aquisição e aos custos de uso e manutenção. De acordo com dados do IBGE (IBGE, 2022), haviam 187.126 motos emplacadas em 2006, já em 2020, foram emplacadas 595.176 motocicletas, apontando forte tendência de crescimento. Caminhões, caminhonetes e utilitários representam, respectivamente, 4,8%, 9,3% e 1,2% dos emplacamentos até 2020, ficando os ônibus com 1,2% dos emplacamentos.

É importante enfatizar que 83,5% dos veículos emplacados em 2020 foram destinados ao transporte particular, na qual geralmente transporta um único passageiro, gerando uma taxa de emissão de poluentes maior por passageiro, pois existe uma capacidade ociosa do veículo. O transporte coletivo representa somente 1,2% dos veículos emplacados e o setor de transporte de carga representa 15,3% dos veículos emplacados.

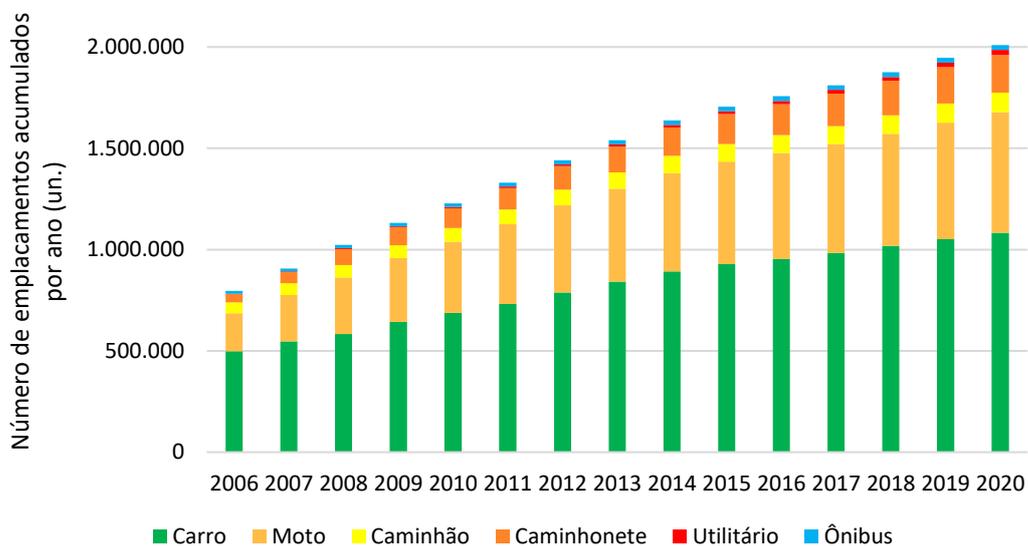


Figura 21. Evolução da frota veicular no ES com base na quantidade acumulada de veículos emplacados por ano por tipo de veículo. Fonte de dados: IBGE (2022)

Um fator importante para ser analisado em relação à frota é a idade média dos veículos. A Figura 22 apresenta o panorama da idade da frota do ES, consolidada por todos os tipos de veículos. Pode-se observar que a partir de 2010 a frota de veículos do ES vem envelhecendo. Em 2010, 44,7% da frota tinha menos de 5 anos, caindo para 21,2% em 2019. Destaca-se que a frota com mais de 10 anos de uso, que representava 40,3% em 2010, passou para mais da metade da frota (50,7%) circulante no Estado. Esse é um sinal de alerta para o aspecto das emissões, pois veículos mais antigos usam tecnologias desatualizadas, que consomem mais combustível e, portanto, emitem mais poluentes, além de usarem combustíveis mais poluentes; por exemplo, o diesel S500 invés do diesel S10, com menor concentração de enxofre (S) em sua composição. A análise da distribuição de veículos com idade abaixo de 5 anos na frota do Estado é importante para identificar a velocidade na qual novas tecnologias disponíveis são inseridas na frota veicular estadual; por exemplo: veículos híbridos ou elétricos.

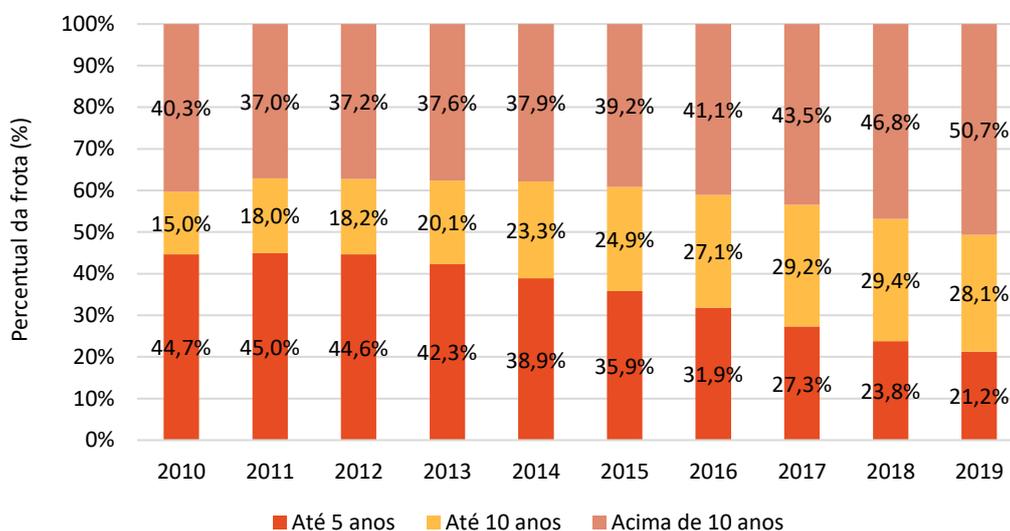


Figura 22. Idade média da frota no ES por categoria de idade (5, 10 e acima de 10 anos). Fonte: Adaptado de (ONTL, 2022)

Outro dado importante para projetar as ações futuras é a taxa de motorização da população, que representa a quantidade de veículos para cada mil habitantes. A Figura 23 mostra que a taxa de motorização no ES vem crescendo desde 2009, o que pode representar um aumento do transporte particular (menos eficiente), em detrimento ao transporte coletivo, de menor impacto em termos de emissão de poluentes considerando a taxa de motorização. A taxa de motorização tem apresentado um crescimento médio anual de cerca de 4% ao longo dos últimos 10 anos (2009-2019). Esse crescimento torna-se ainda mais relevante considerando-se o crescimento estimado da população projetado pelo IBGE que é de 18% para 2050 em relação à população atual (Figura 1). É pouco provável que esta taxa de crescimento se sustente até 2050, mas é interessante ressaltar que mesmo que tenhamos um crescimento anual da taxa de motorização da população de apenas 1% ao ano, a frota resultante seria 55% maior que a atual, e para um crescimento da taxa de motorização de apenas 2% ao ano, a frota resultante seria 105% maior. Estes números requerem planejamento específico para o setor em longo prazo, principalmente com ações ligadas ao transporte público.

Um fator que pode aumentar o consumo dos veículos e, consequentemente, as emissões de GEE, é o estado de conservação das estradas de rodagem, sobretudo, no que diz respeito ao transporte de carga. Em estudo realizado pela Confederação Nacional do Transporte – CNT (CNT, 2022) estimou-se que, por conta do estado de conservação das rodovias do ES, um consumo desnecessário de 13,7 milhões de litros de diesel foi gerado em 2021. O ES possui muitas estradas que estão sob a responsabilidade do governo

estadual e, portanto, a conservação dessas estradas deve ser um fator de atenção. Em 2021, a Pesquisa CNT (CNT, 2022) de rodovias avaliou toda a malha pavimentada das rodovias federais e os principais trechos das rodovias estaduais do ES. O ES teve 1.726 km de estradas estaduais e federais analisadas, representando 1,6% do total pesquisado no Brasil. Das estradas analisadas, 59,8% foram consideradas regulares a péssimas, enquanto 40,2% foram consideradas em boas condições.

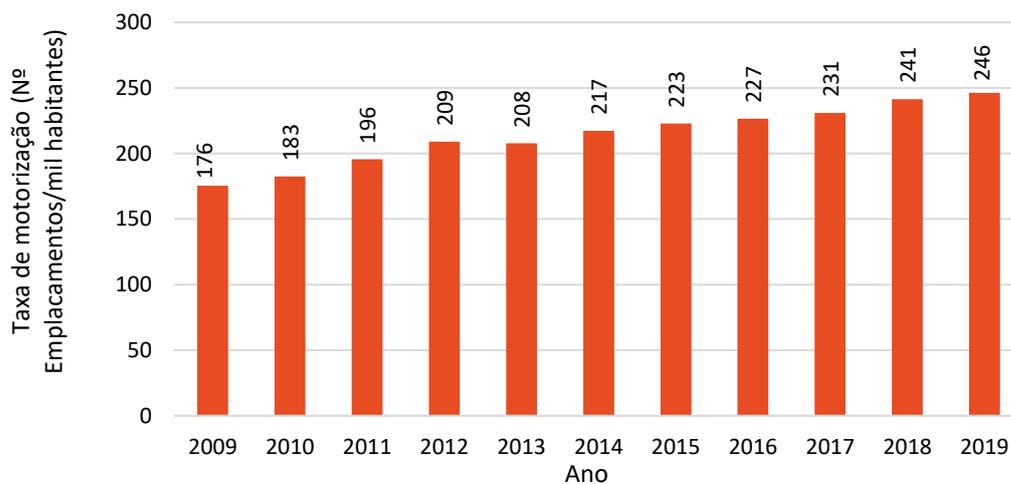


Figura 23. Evolução da taxa de motorização no ES. Fonte: Adaptado de (ONTL, 2022).

O transporte ferroviário no ES é majoritariamente realizado pela Estrada de Ferro Vitória-Minas e gerida pela empresa Vale S/A. Suas locomotivas de viagem e de manobra do Pátio de Tubarão são abastecidas no posto de abastecimento do Complexo de Tubarão, localizado no município de Serra – ES. Segundo a Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo (ARSP-ES, 2022), em 2020, essas locomotivas consumiram mais de 80 milhões de litros de diesel. Convém ressaltar que este consumo está principalmente ligado à empresa Vale, que possui metas específicas de neutralização de emissões de GEE até 2050.

No Brasil foram propostas políticas e planos com foco na maior eficiência do sistema e na minimização de emissões a partir do setor de transportes. Dentre os diversos planos e políticas, destacam-se: o Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM); a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU); o Plano Nacional de Logística Integrada (PNLI); a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio); o Programa Rota 2030 de Mobilidade e Logística, Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE); o Plano Nacional de Eficiência (PNEf); o Projeto de Eficiência Energética na Mobilidade Urbana, Programa Mobilidade Elétrica e Propulsão Eficiente (PROMOB-e); o Programa Brasileiro de

Etiquetagem Veicular (PBEV); e o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET). Apesar de todos esses planos, muito ainda deve ser realizado para que efetivas reduções de emissões de GEE do sistema de transportes sejam alcançadas.

O PNE sugere macroestratégias para reduzir as emissões e, dentre elas, citam-se: i) priorização do transporte de massa (Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), Bus Rapid Transit (BRT), dentre outros); ii) migração da frota de veículos leves a combustão para veículos híbridos flex e veículos elétricos; iii) digitalização da mobilidade urbana visando reduzir congestionando melhorando a fluidez e eficiência do transporte. Para atingir essas macroestratégias, o PNE sugere algumas tecnologias, dentre elas, destacam-se: i) Veículos flexfuel; ii) Gás Natural Liquefeito (GNL), Gás Natural Veicular (GNV) e Biometano; iii) Biodiesel; iv) Diesel renovável ou diesel verde (Green Diesel); v) Veículos elétricos; e vi) Pilha a Combustível para produção de hidrogênio a partir de biocombustíveis e gás (gás natural e biometano).

A busca por tecnologias de veículos híbridos, flex e veículos elétricos se justifica pela previsão do PNE na qual estima que um aumento de renda da população pode levar o Brasil a ter 130 milhões de veículos leves em 2050. Se mantido o veículo a combustão tradicional, haverá um aumento expressivo no consumo de combustíveis fósseis e nas emissões de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$). Além disso, a taxa de motorização no Brasil deve chegar a aproximadamente 1,6 habitantes/veículo, uma taxa muito inferior àquela reportada em 2013 de 5,3 habitantes/veículo (Figura 24). O patamar de 2050 se equipara aos países da OCDE, mais ricos e desenvolvidos que o Brasil. Dessas projeções, percebe-se também a importância da migração do transporte individual para o transporte coletivo visando a reverter essa tendência, desestimulando a compra de veículos leves por meio da oferta de transporte coletivo de qualidade e confiabilidade.

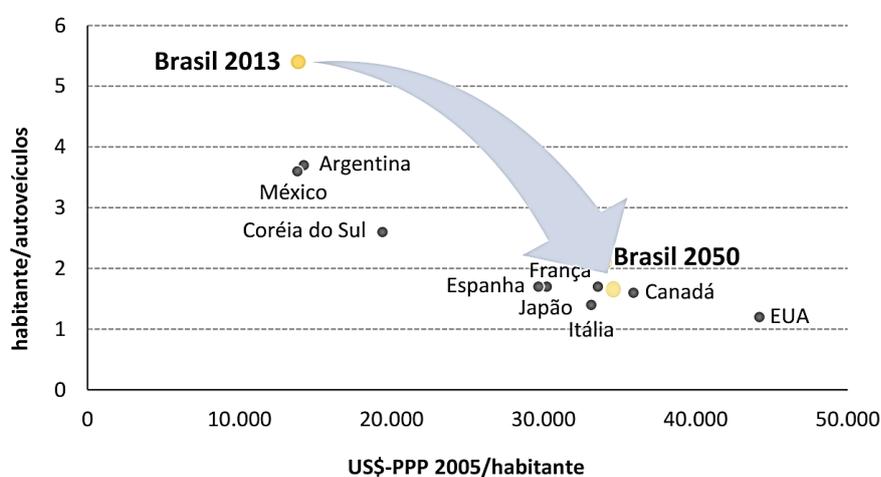


Figura 24. Evolução comparada na taxa de motorização no Brasil. Fonte: PNE 2050 (Brasil, 2020).

No Brasil, no que diz respeito à eletromobilidade¹¹, o PNE 2050 prevê que diante os desafios a serem superados pelas tecnologias veiculares híbrida e elétrica, haverá uma entrada gradual dessas tecnologias e que essas conviverão com os veículos de combustão interna por um tempo considerável. Isso se deve sobretudo aos custos muito inferiores de veículos a combustão quando comparados com os veículos híbridos e elétricos. A análise da política de implantação de eletromobilidade não se limita à propulsão do tipo de veículo, mas se preocupa também com a fabricação de veículos, motos, ônibus e caminhões elétricos e com a infraestrutura para que eles possam ser abastecidos e circular.

Um fator que inibe o rápido crescimento da eletromobilidade é a carência de infraestrutura; necessitando, sobretudo, eletropostos para reabastecimento dos veículos elétricos. Assim, para superar a falta de infraestrutura inicial no país, acredita-se que uma opção seja a adoção de veículos híbridos utilizando biocombustíveis, especialmente o etanol.

Ainda não existem soluções a curto prazo para substituição dos motores a combustão para veículos pesados, nem no Brasil ou no mundo, sendo, no momento, a melhor aposta os biocombustíveis. Também tem se buscado uma melhora sistêmica dos veículos pesados, reduzindo seu peso com materiais e projetos modernos, aumentando a eficiência dos motores, melhorias aerodinâmicas, de transmissão e pneus, dentre outras.

É importante compreender que as rotas de descarbonização adotadas pelo ES no setor de transportes devem estar alinhadas com as políticas nacionais e as perspectivas tecnológicas internacionais. A conjuntura externa ao Estado é de vital importância no sucesso das políticas de descarbonização. Neste contexto, a seleção das rotas tecnológicas empregadas no ES deve levar em consideração as características regionais, as políticas nacionais (vigentes e em construção) e as perspectivas tecnológicas internacionais.

3.4 Potencial de geração de energia a partir de fontes renováveis

Globalmente, todos os caminhos modelados pelo IPCC em seu último relatório sobre Mitigação de Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), que limitam o aquecimento a 1,5°C (sem nenhum ou limitado *overshoot*) e aqueles que limitam o aquecimento a 2°C, envolvem

¹¹ A eletromobilidade pode ser definida como sendo a mobilidade (as vezes entendida como transporte, apesar de não o ser) que faz uso de veículos movidos exclusivamente, ou parcialmente, por motores elétricos.

reduções rápidas e profundas, sendo na maioria dos casos ações imediatas de emissões de GEE em todos os setores. As estratégias de mitigação empregadas incluem a transição de combustíveis fósseis sem CCUS para fontes de energia com baixo ou zero carbono, como renováveis ou combustíveis fósseis com CCUS, e melhoria da eficiência e implantação de métodos de remoção de dióxido de carbono (CDR) para contrabalançar as emissões residuais de GEE.

Com o objetivo de fornecer uma perspectiva sobre os custos das tecnologias renováveis em comparação à fontes tradicionais, a Tabela 4 apresenta os custos de implantação e operação da geração considerado pelo Modelo de Decisão de Investimentos da Empresa de Pesquisa Energética do Ministério de Minas e Energia do Brasil, que foi empregado para elaborar o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021b). É possível observar que os custos considerados para algumas fontes renováveis, como eólica *onshore* e fotovoltaica, já são razoavelmente comparáveis aos custos de tecnologias fósseis mais tradicionais. Por outro lado, outras tecnologias renováveis, como eólica *offshore*, ainda apresentam custos significativamente elevados¹².

A redução de custos e os incentivos têm sido responsáveis pela expansão do uso de fontes renováveis no Brasil. Segundo o Balanço Energético Nacional 2022 (EPE, 2022):

“Em 2021, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 181.610 MW, acréscimo de 6.873 MW, não incluída a mini e micro geração. Na expansão da capacidade instalada, as centrais eólicas contribuíram com 3.640 MW ou seja 53% do total adicionado. ... A produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 72,3 TWh em 2021, equivalente a um aumento de 26,7% em relação ao ano anterior, quando se atingiu 57,1 TWh. Em 2021, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 21,2%. Segundo o Banco de Informações da Geração (SIGA), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o parque eólico nacional atingiu 20.771 MW.”

¹² Para informações adicionais sobre os custos considerados no PDE 2030, consulte https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf

Tabela 4. Resumo das considerações de custos para as tecnologias do Modelo de Decisão de Investimentos empregado para elaborar o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021b). Fonte: Adaptado de EPE (2021b).

Tipo de Tecnologia	Faixas de CAPEX, mín e máx [R\$/kW]	CAPEX Referência, sem JDC [R\$/kW]	O&M [R\$/kW/ano]	Encargos Impostos [R\$/kW/ano]	CVU [R\$/MWh]
Usinas Hidrelétricas	8.935 a 15.244	-	30 a 50	490 a 700	-
Fotovoltaica	3.000 a 5.000	4.000	50	150	-
Eólica <i>Onshore</i>	3.200 a 5.500	4.500	90	180	-
PCH (CAPEX Baixo)	3.500 a 6.500	5.000	90	180	-
PCH (CAPEX Médio)	6.500 a 8.500	7.500	90	230	-
PCH (CAPEX Alto)	8.500 a 11.500	10.000	90	300	-
Biomassa (Bagaço de Cana)	2.000 a 5.500	4.000	90	190	-
Biomassa (Cavaco de Madeira)	4.000 a 8.000	6.000	120	250	-
Biogás	3.000 a 10.000	7.500	500	300	-
RSU	14.500 a 27.000	19.600	600	750	-
Gás Natural (Ciclo Combinado)	3.400 a 5.900 (apenas a UTE)	4.100	80 (UTE) + 80 (Regas)	250	268 a 347
Gás Natural (Ciclo Aberto)	2.900 a 4.700	3.400	80 (UTE) + 160 (Regas Terceiros)	230	451 a 560
Gás Natural (C Comb. Pré-sal)	3.400 a 5.900 (apenas a UTE)	5.10031	150	280	202
Carvão Nacional	8.000 a 13.500	9.800	160	620	120
Nuclear	22.000 a 29.400	24.500	490	740	44
Eólica Offshore	9.800 a 18.600	12.250	490	450	-
Fotovoltaica Flutuante	3.800 a 6.500	5.000	65	180	-
Usinas Reversíveis	2.400 a 12.000	6.500	70	300	-
Armazenamento – Baterias	6.000 a 9.800	7.350	70	310	-

Os dados do Balanço Energético Nacional 2022 (EPE, 2022) mostram que a participação das fontes renováveis na capacidade instalada de geração do país é cerca de 83%, com solar e eólica correspondendo a 2,6% e 11,4 %, respectivamente, conforme mostrado na Figura 25.

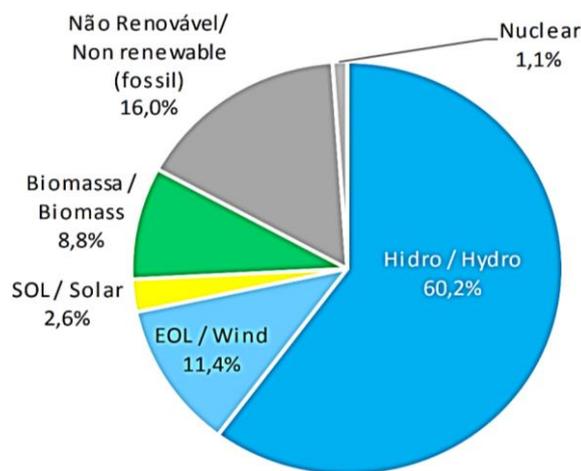


Figura 25. Participação das fontes na capacidade instalada

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021) aponta para o aumento da participação das fontes eólica e solar na capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Conforme apresentado na Figura 26, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 projeta um crescimento da participação de fontes renováveis incentivadas (eólica, solar, PCH e biomassa) na capacidade instalada da geração centralizada de 24% em 2020 e para 33% em 2030.

A Figura 27 apresenta a projeção da variação de capacidade instalada no horizonte decenal, em GW por tecnologia, indicando significativa expansão da geração distribuída (+483%), solar (+171%) e eólica (+103%) e uma redução da capacidade instalada de geração baseada em carvão, diesel e óleo.

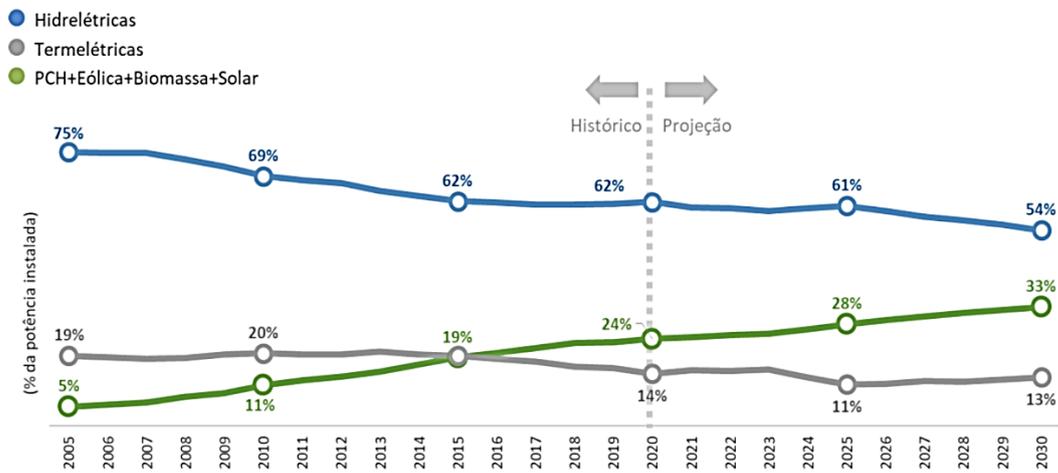


Figura 26. Projeção da participação das fontes na capacidade instalada da geração centralizada no Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Fonte: EPE (2021c).

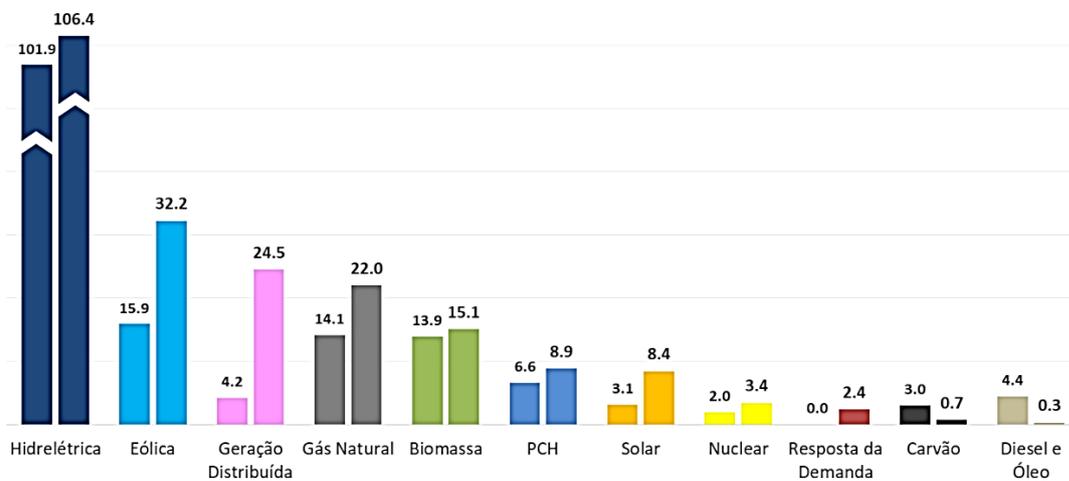


Figura 27. Projeção da variação de capacidade instalada no horizonte decenal prevista no Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, em GW por tecnologia. Fonte: EPE (2021c).

Outro quesito relevante no panorama nacional é o crescimento do mercado livre de energia elétrica (MLEE) ou Ambiente de Contratação Livre (ACL). Segundo dados da Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (ABRACEEL, 2022), o ACL responde por 38% de toda a energia consumida no país. Mais de 80% do consumo industrial no país está associado ao MLEE, que se consolida como indutor das energias renováveis, absorvendo 68% da energia gerada por usinas a biomassa, sendo 61% por PCH, 47% por

eólicas e 40% por solares centralizadas. O MLEE absorveu 54% da geração de energia consolidada de fontes renováveis incentivadas (eólica, solar, PCH e biomassa), segundo maior patamar da série histórica. Em agosto de 2022, a produção consolidada das quatro fontes de energia renováveis incentivadas somou 20.628 MW, maior patamar observado até então, superando pela primeira vez a barreira dos 20 mil MW médios de produção mensal. Dos 20.628 MW médios gerados, 11.079 MW médios foram destinados ao MLEE para o atendimento das demandas dos consumidores livres de energia elétrica (Figura 28).

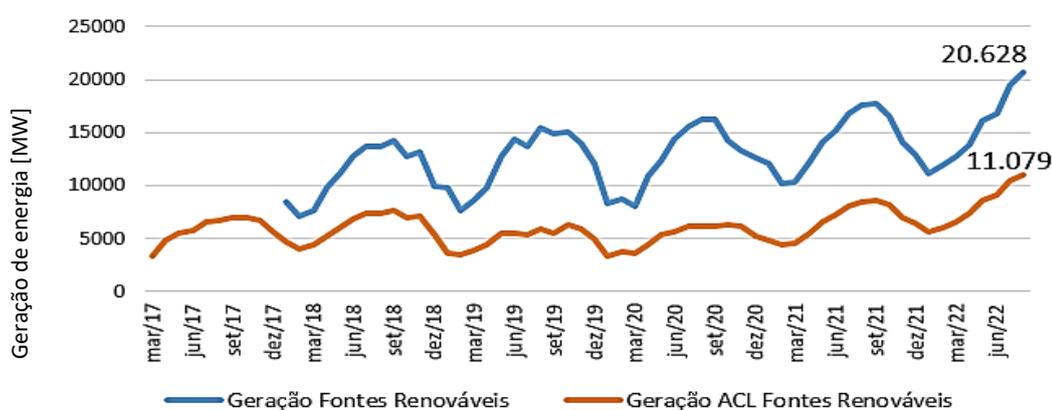


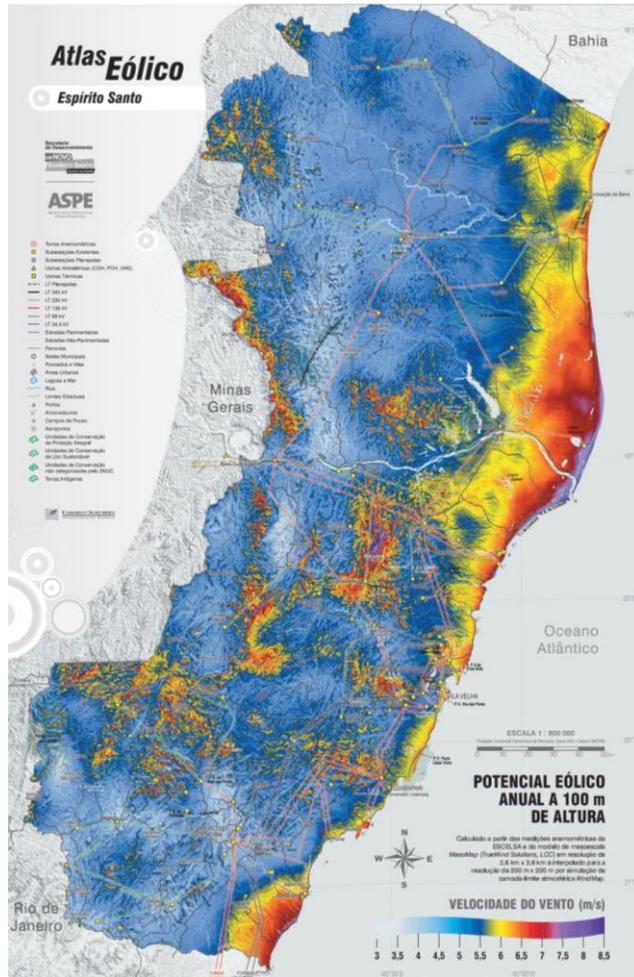
Figura 28. Geração total de energias renováveis incentivadas (eólica, solar, PCH e biomassa) e parcela vendida no mercado livre de energia (em MW médios). Fonte: ABRACEEL (2022).

3.4.1 Energia Eólica

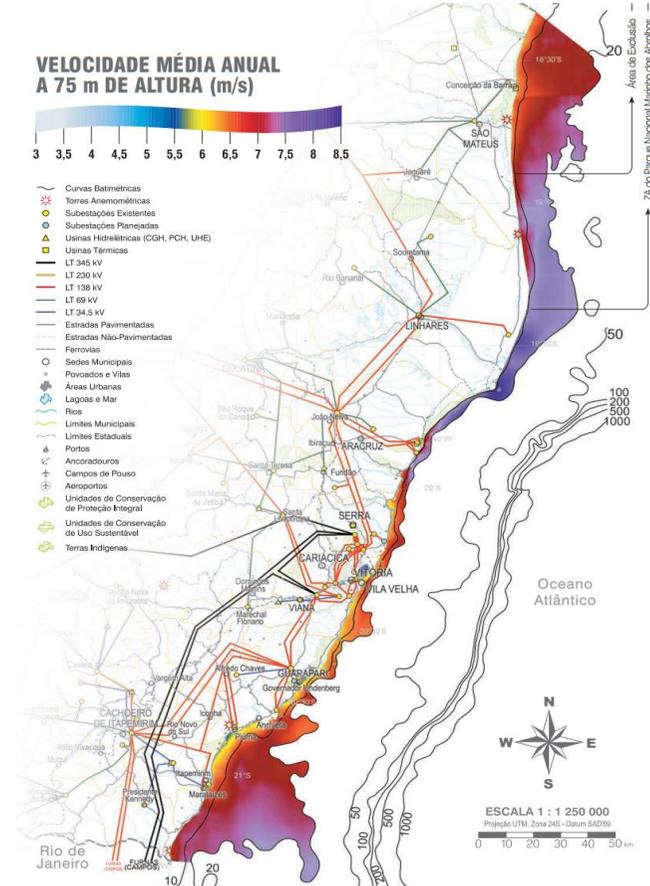
O Atlas Eólico Espírito Santo (ASPE, 2009), publicado por meio da Agência de Regulação de Serviços Públicos (ARSP), apresenta a estimativa do potencial eólico em terra (*onshore*) e no mar (*offshore*), ao longo da costa capixaba até 20 m de profundidade.

Considerando o potencial *onshore*, o documento indica que o ES tem duas áreas propícias para a geração eólica: uma no litoral do município de Linhares e outra no litoral sul, compreendendo os municípios de Presidente Kennedy e Marataízes (Figura 29a). O documento considera que áreas com ventos médios anuais igual ou superior a 6,0 m/s possuem condições favoráveis para a operação de usinas eólicas¹³. As duas regiões apresentam baixa rugosidade de relevo e velocidades de vento médias anuais em torno de 6,5 m/s a 50 m de altura e possuem interligação com o sistema elétrico nacional.

¹³ O documento ressalta que os limiares mínimos de atratividade para investimentos em geração eólica dependem do contexto econômico, com velocidades médias anuais entre 5,5 m/s e 7,0 m/s.



(a)



(b)

Figura 29. Velocidade média anual do vento a 75 m no ES: (a) onshore e (b) offshore. Fonte: Atlas Eólico Espírito Santo (Amarante et al., 2009).

O potencial eólico *onshore* foi estimado em 0,53, 1,79 e 4,06 GW, para áreas com ventos iguais ou maior que 6,5 m/s, para alturas de 50, 75 e 100 m, respectivamente. A estimativa de geração anual é de 4.176 TJ (1,16 TWh), 13.356 TJ (3,71 TWh) e 26.280 TJ (7,30 TWh) nas alturas de 50, 75 e 100 m, respectivamente, com fator de capacidade de 22%.

O Atlas indica que o potencial de geração eólica *offshore* está distribuído ao longo da região costeira do ES e estimado em 4,7 GW a 75 m de altura com velocidades de ventos superiores a 7,0 m/s, conforme apresentado na Figura 29b. O documento ressalta que 45,5% do potencial eólico está dentro da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional Marinho de Abrolhos. Entretanto, o IBAMA publicou a Portaria Normativa Nº 14, em 18 de março de 2022 (IBAMA, 2022), que anula a definição dos limites da ZA do Parque Nacional Marinho de Abrolhos. Os empreendimentos eólicos *offshore* requerem a existência de uma estrutura portuária que suporte o serviço de construção, montagem e transporte. Desta forma, a expertise já existente no setor offshore de óleo e gás no ES pode ser um importante facilitador para o desenvolvimento deste setor. Atualmente, existem no IBAMA quatro projetos em processo de licenciamento para a implantação de usinas eólicas *offshore* no sul do ES, conforme mostrado na Figura 30.

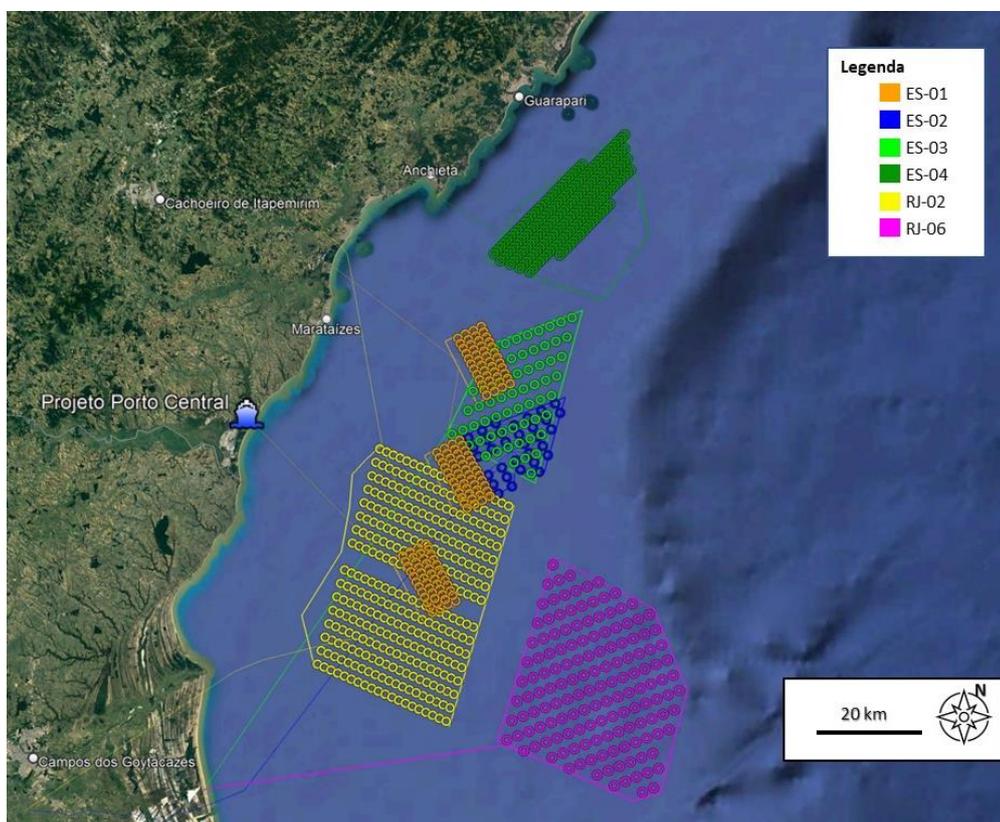


Figura 30. Processos de licenciamento ambiental de eólicas *offshore* abertos no Ibama até 20 de abril de 2022. Fonte de dados: GoogleEarth e IBAMA (2022)

A Tabela 5 mostra as características dos empreendimentos em licenciamento no estado. Os projetos no ES têm uma potência total somada de 5,70 GW. Entretanto, como existe superposição entre os projetos, a potência máxima possível, caso todos os empreendimentos sejam implantados, é de 4,45 GW. O potencial em licenciamento é bastante significativo, principalmente, se considerado a potência atual de geração de energia elétrica no ES que é de 1,99 GW, incluindo as usinas já outorgadas.

Tabela 5. Características dos projetos em licenciamento - Complexos Eólicos Offshore no ES.

Fonte: IBAMA (2022).

ES-01		Aerogeradores	
Dados do Empreendimento		Pot (MW)	10
Usina	Votu Winds	Torre (m)	150
Processo	02001.029651/2020-59	Pá (m)	96
Aberto em	2020/12/28	Altura (m)	247
Potência	1440 MW		
Torres	144		
Área (km2)	280.089		
Titular	Votu Winds		

ES-02		Aerogeradores	
Dados do Empreendimento		Pot (MW)	15
Usina	Vitoria Offshore	Torre (m)	150
Processo	02001.001043/2022-41	Pá (m)	118
Aberto em	2022/01/14	Altura (m)	268
Potência	495 MW		
Torres	33		
Área (km2)	164.651		
Titular	Geradora Eólica Brigadeiro II SA		

ES-03		Aerogeradores	
Dados do Empreendimento		Pot (MW)	20
Usina	Quesnelia	Torre (m)	157
Processo	02001.001549/2022-51	Pá (m)	132
Aberto em	2022/01/21	Altura (m)	289
Potência	1240 MW		
Torres	62		
Área (km2)	395.259		
Titular	Bluefloat Energy do Brasil Ltda		

ES-04		Aerogeradores	
Dados do Empreendimento		Pot (MW)	14
Usina	Projeto Ubu	Torre (m)	136
Processo	02001.006228/2022-42	Pá (m)	111
Aberto em	2022/03/16	Altura (m)	247
Potência	2520 MW		
Torres	180		
Área (km2)	489.168		
Titular	Shell Brasil Petróleo Ltda		

Atualmente, uma nova versão do Atlas Eólico do ES está sendo elaborada com entrega prevista para 2023. O projeto é financiado pela Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ) junto com o Governo do Estado. A ação faz parte do Programa *Strategic Partnerships for the Implementation of the Paris Agreement (SPIPA)*, desenvolvido pela GIZ. O projeto apoia estados brasileiros com potencial para a produção de energia eólica.

3.4.2 Energia Solar

O documento “Energia Solar no Espírito Santo - Tecnologias, Aplicações e Oportunidades” foi publicado pela Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo (ASPE) em 2013 (ASPE, 2013). A Figura 31 apresenta o mapa da irradiação diária média anual no plano inclinado no Espírito Santo e mostra que a irradiação varia entre 4,64 kWh/m²/dia e 5,40 kWh/m²/dia, indicando o potencial solarimétrico do Estado.

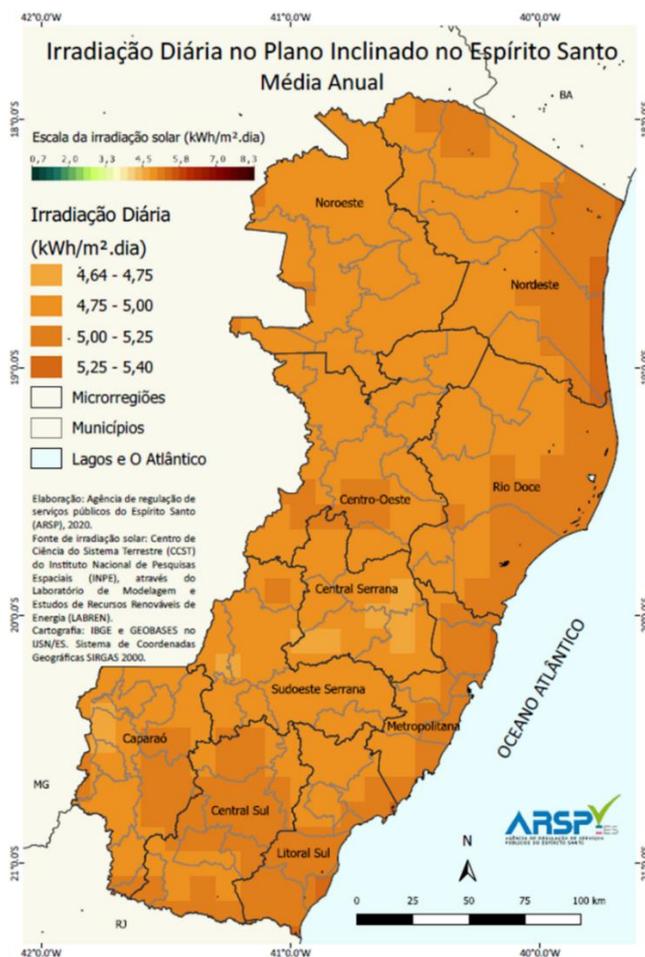


Figura 31. Mapa da irradiação diária média anual no plano inclinado no Espírito Santo. Fonte: ARSP - A energia solar no Espírito Santo

Além de apresentar o potencial para o Estado, o documento compara a irradiação no ES com a média no Brasil e em outras regiões do mundo, indicando que a irradiação do ES é superior a registrada em países como a Alemanha (2,5 kWh/m²/dia e 3,4 kWh/m²/dia) e Espanha (3,4 kWh/m²/dia e 5,0 kWh/m²/dia), que são o 1º e 2º geradores de energia elétrica a partir da energia solar da Europa, demonstrando a viabilidade tecnológica desta modalidade de produção de energia (Figura 32).

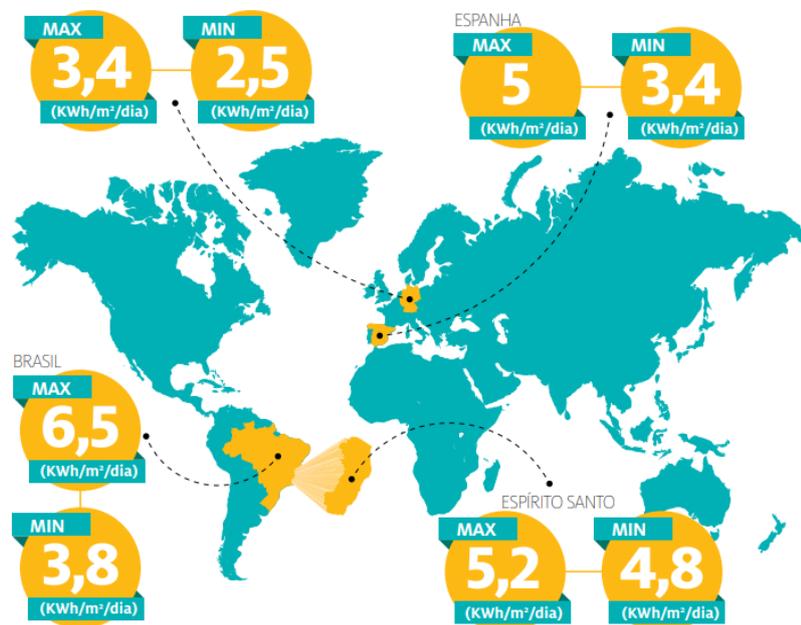


Figura 32. Irradiação média no ES, no Brasil e em outras regiões do mundo. Fonte: ARSP - A energia solar no Espírito Santo.

Entretanto, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2017), o ES não faz parte das regiões com maior nível de irradiação disponível, possuindo nível intermediário em relação aos demais Estados brasileiros (4,50 a 5,25 kWh/m²/dia), como mostra a Figura 33. Algumas regiões como o PI, norte de MG e leste de BA alcançam níveis de irradiação de cerca de 6,0 kWh/m²/dia. Este fator torna essas regiões mais atrativas para a instalação de grandes empreendimentos de geração centralizada. Por outro lado, a proximidade com os setores consumidores pode reduzir os custos de transmissão no ES, tornando os investimentos mais atrativos. Diferentemente da geração distribuída, que vem se espalhando por todas as regiões do Brasil, a geração solar fotovoltaica centralizada tem se concentrado nas áreas mais ensolaradas do país, onde, além da disponibilidade do recurso solar, o custo da terra também deve ser levado em conta (Pereira *et al.*, 2017). No

momento, as maiores usinas de geração solar no Brasil estão instaladas em MG, PI, BA, SP e CE (PORTAL SOLAR, 2022). Todavia, é importante ressaltar que as limitações de linhas de distribuição podem ser um fator relevante no futuro, e a instalação de usinas em regiões mais próximas aos pontos de maior demanda pode se tornar mais relevante.

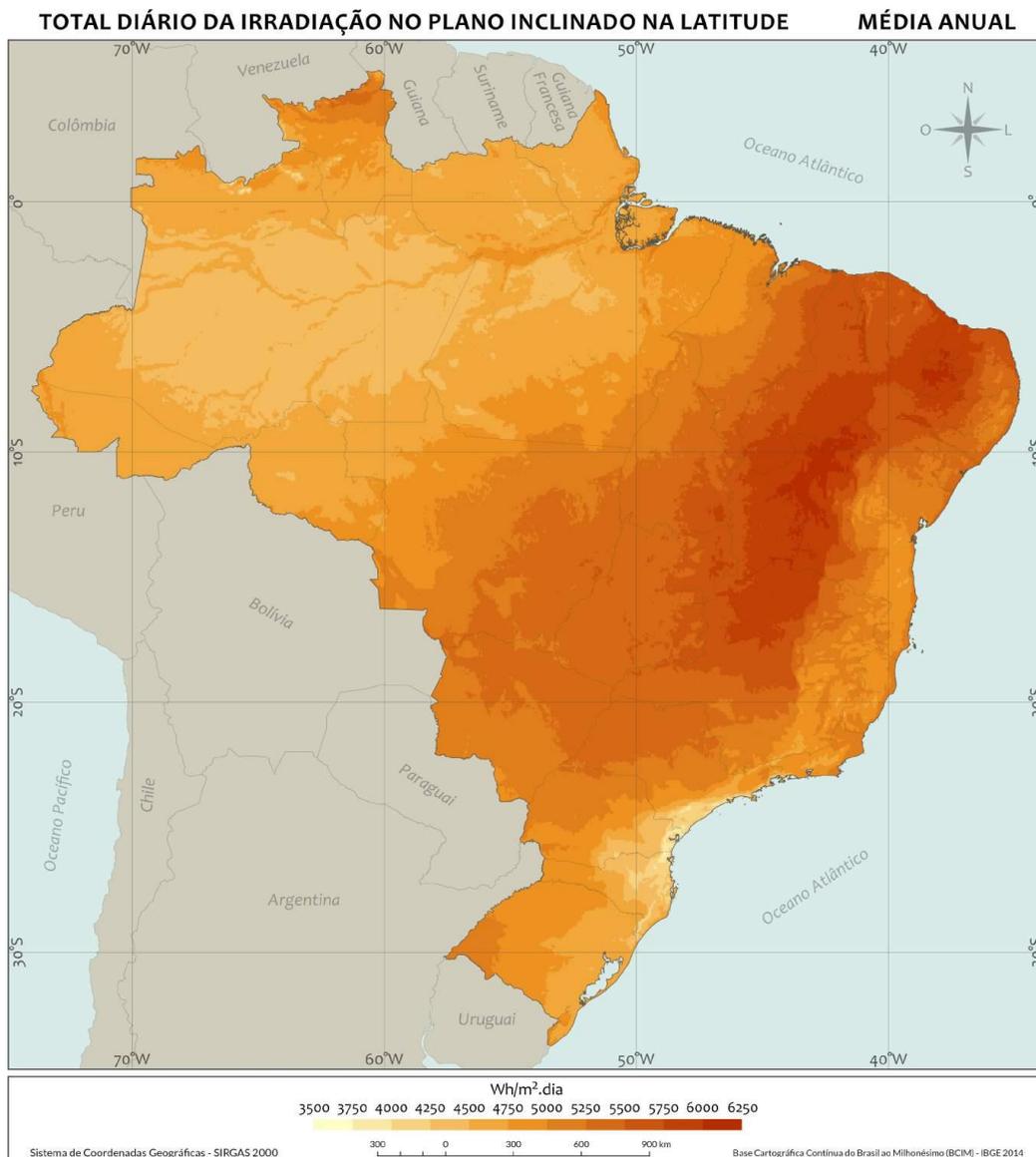


Figura 33. Total diário de irradiação no plano inclinado na latitude média anual no Brasil. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017).

Neste contexto, convém enfatizar que sistemas de conversão fotovoltaica mais eficientes e disponíveis comercialmente, hoje, alcançam eficiência pouco acima de 20%. Porém, muitos desses sistemas não passam de 16% de eficiência. Na prática, a maior eficiência já conseguida com esses sistemas foi de 25%, apesar da eficiência teórica ser de 35%. Apesar da baixa eficiência, os sistemas fotovoltaicos são a melhor opção para aproveitamento da energia solar para pequenas capacidades ou potências instaladas, principalmente aquelas menores que 10 MW. Independentemente da capacidade instalada, a eficiência destes sistemas permanece a mesma, aumentando apenas o número de células. Porém, para grandes demandas, principalmente acima de 20 MW, na qual os ciclos térmicos de potência já alcançam eficiências entre 30 e 35%, é preciso considerar como alternativa competitiva em termos de eficiência na conversão de energia solar, as termossolares (CSP), que são plantas que aproveitam a energia solar para gerar calor em concentradores e depois converter este calor em potência usando ciclos térmicos de potência.

No momento, a vocação do ES para geração de energia solar parece estar voltada majoritariamente para a geração fotovoltaica e distribuída. De fato, a geração distribuída no Espírito Santo é dominada pela geração fotovoltaica, e continua crescendo. No Brasil, de maneira geral, a geração distribuída também é responsável pela maior parcela da geração de energia solar (67%). A Figura 34 apresenta a evolução temporal da potência instalada de energia solar no Brasil, apresentando um crescimento médio anual de 86% no período entre 2017 e 2021.

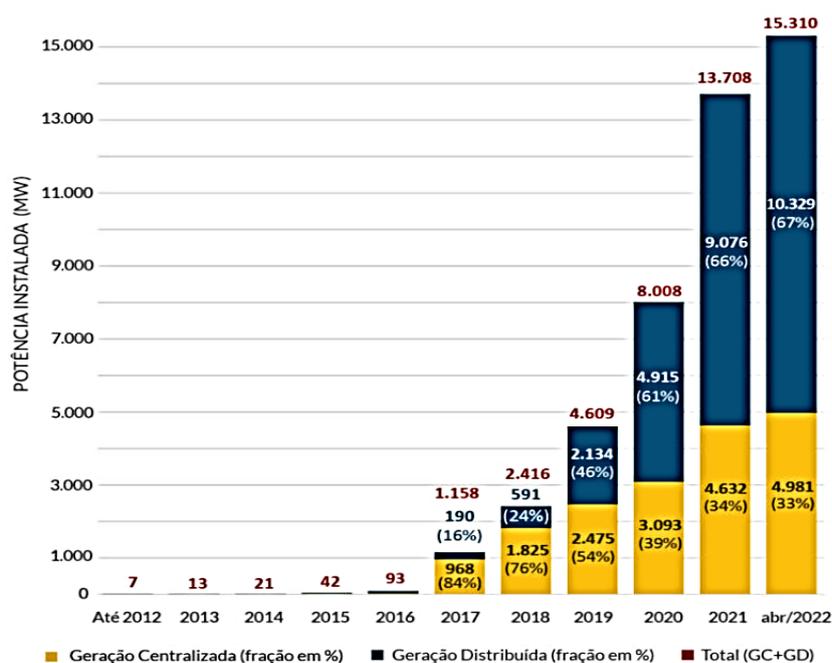


Figura 34. Evolução com o tempo da potência instalada de energia solar no Brasil. Fonte: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABESOLAR, 2022).

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABESOLAR, 2022), em 2022, o ES ocupava apenas a 17ª colocação no ranking de estados geradores de energia solar distribuída, com potência instalada de apenas 192 MW; enquanto outros estados da região sudestes, como MG, SP e RJ, possuem potência instalada de 1730 MW, 1323 MW e 421 MW, respectivamente. Desta forma, existe um considerável potencial disponível para aproveitamento, principalmente para geração distribuída.

3.4.3 Energia Hídrica

Atualmente, existem 22 usinas hidrelétricas no Estado, somando uma potência outorgada de 565,3 MW, correspondendo a 31,5% da matriz. Das 22 usinas, quatro são Usinas Hidrelétricas (UHEs) com capacidade instalada acima de 30 MW, sete são Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) com capacidade inferior a 5 MW e 17 são Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) com capacidade instalada entre 5 MW e 30 MW.

O artigo “Potencial hídrico do Estado do Espírito Santo - energia, uso sustentável e tecnologias”, elaborado por pesquisadores da ARSP-ES, INCAPER e AGERH e publicado no IX Congresso Brasileiro de Regulação em 2015, traz as principais características das bacias hidrográficas (bacias de drenagem) do ES, além do potencial hidrelétrico de cada uma nos respectivos estágios de exploração (Lima *et al.*, 2015). O potencial de hidroeletricidade do Espírito Santo é estimado com um potencial remanescente, ou seja, já retiradas as usinas existentes, de 893 MW, o que representa um adicional de 160% da potência já instalada no ES. Não obstante, observa-se efetivamente um potencial para microgeração de 568 MW e de minigeração de 562 MW.

3.4.4 Biomassa

Em 2013, por meio da Agência de Serviços Público em Energia do Estado do Espírito Santo (ASPE), o Governo do Estado confeccionou e publicou o Atlas de Bioenergia do Espírito Santo (ASPE, 2013). O documento foi desenvolvido em um projeto colaborativo entre a ASPE, o Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF), o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) e a Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN). A metodologia de conversão da biomassa em energia foi a mesma desenvolvida pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO). Através desses dados e de geoprocessamento, foram gerados mapas acerca da disponibilidade de cada tipo de biomassa por município do Estado.

Figura 35 apresenta o potencial de biomassa do Estado para cada setor. O potencial total de energia de biomassa do ES foi estimado em 4.343.608 MWh (15.637 TJ), o que representa um potencial disponível no Estado de 539,7 MW. É importante notar que o setor com maior potencial é o de Efluentes Animais, com 69,1% da energia de biomassa. Em segundo lugar aparece o setor de Silvicultura com 16,8%, seguido pelo setor de lavouras temporárias com 4,4% do potencial estimado. Os setores de Resíduos Sólidos Urbanos, Efluentes Domésticos e Comerciais e Lavoura Permanente correspondem a 3,7%, 3,4% e 2,4% da energia de biomassa, respectivamente. Estes números demonstram o grande potencial de geração de energia no setor Agropecuário.

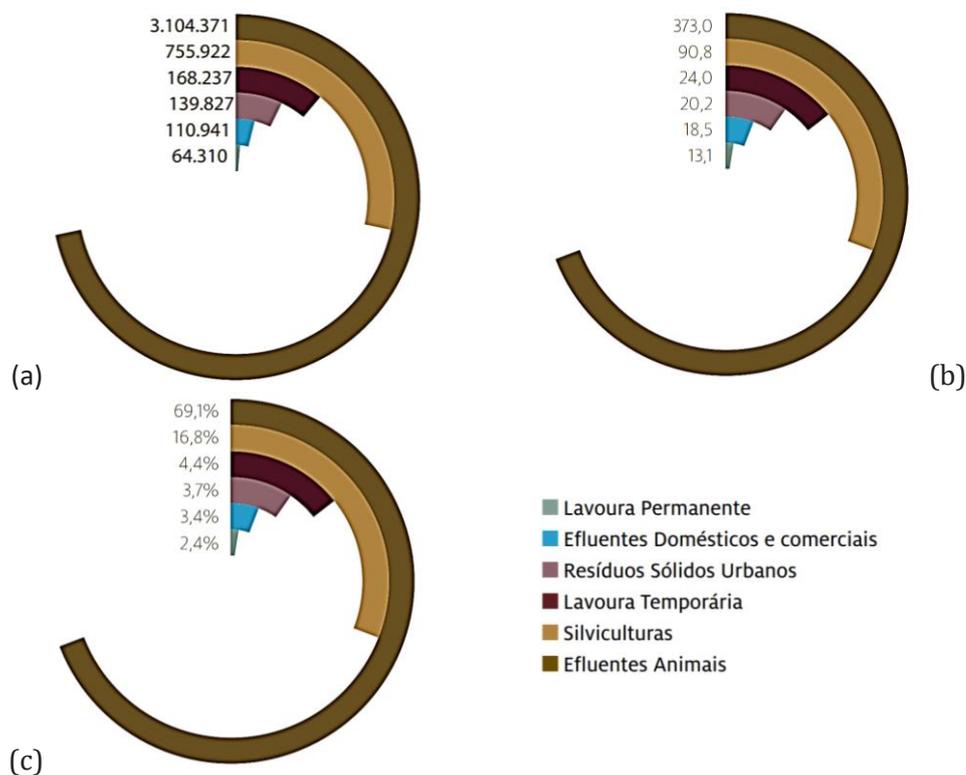


Figura 35. Potencial energético de biomassa por setor. (a) Energia [MWh], (b) Potência [MW] e (c) percentual de energia em cada tipo de biomassa em relação ao total. Fonte: (ASPE, 2013).

A Tabela 6 apresenta a Energia e Potencial de cada tipo de biomassa no ES, destacando-se o potencial energético da biomassa de resíduos de bovinos, de silvicultura e de aves. É importante destacar que, para o caso de resíduos animais, o metano corresponde à quantidade de biogás (em m³) resultante da decomposição do esterco gerado diariamente

nas propriedades criadoras de suínos, bovinos, aves e demais criações e abatedouros. Entretanto, esse potencial não pode ser considerado em sua totalidade, pois, apesar de abundante, grande parte da criação de animais é realizada pelo método extensivo, com animais criados soltos no pasto, não havendo como realizar a coleta da biomassa. Neste contexto, as criações intensivas têm um potencial significativamente maior de aproveitamento, destacando-se a avicultura e a suinocultura.

Um levantamento mais recente da Associação Brasileira do Biogás (ABiogás), que apresenta o Potencial Brasileiro de Biogás e Biometano¹⁴, aponta que o ES tem um potencial de produção de 522 milhões m³/ano de biometano, sendo 91,7 milhões m³/ano relacionado ao setor sucroenergético, 3,7 milhões de m³/ano relacionado a produção agrícola, 390 milhões m³/ano relacionado a proteína animal e 36,6 milhões m³/ano relacionado ao setor de saneamento. Este volume de produção é equivalente a 1.962 GWh/ano. O valor de referência publicado pela ARSP-ES¹⁵ para comparação o consumo anual médio de gás natural canalizado no ES (2016-2020) foi de 955,7 milhões de m³, de acordo com o Boletim do Gás Natural do Espírito Santo para o segundo trimestre de 2021. Tais valores indicam um potencial significativo de produção de biogás e biometano no ES.

Entretanto, convém ressaltar que as linhas de transporte e distribuição de gás natural no ES estão distribuídas, principalmente, no litoral do Estado, enquanto que o principal potencial de geração de biogás está no interior do Estado, apresentando um desafio de infraestrutura para o seu aproveitamento.

¹⁴ Disponível em: <https://abiogas.org.br/potencial-de-biogas-no-brasil/>

¹⁵ Disponível em: https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/G%C3%A1s%20Natural/Boletim%20do%20G%C3%A1s/2021/BGN_2Tri2021.pdf

Tabela 6. Energia e Potencial de cada tipo de biomassa no ES. Fonte: Fonte: (ASPE, 2013).

Energia e Potencial de cada biomassa no ES Versus o Consumo Residencial (média 2001 a 2010)				
Tipo de Biomassa	Quantidade Produzida em [toneladas]	Energia por tipo de biomassa em [MWh]	Potencial por tipo de biomassa em [MW]	Equivale ao N° de Residências consumindo (280 KWh/mês)**
Lavoura Temporária				
Milho (casca) ton	106.443,7	13.924	1,4	1.036
Cana de açúcar ton	4.196.749,8	125.902	22,6	9.368
Lavoura Permanente				
Cacau (casca) ton	8.569,1	4.663	0,6	347
Café (casca) ton	607.802,9	67.969	8,2	5.057
Coco (casca) Mil frutos	160.663,0	38.308	4,4	2.850
Silviculturas				
Resíduos de Madeira em Tora, ton	1.707.189,3	674.935	81,1	50.218
Lenha, ton	104.144,7	45.049	5,4	3.552
Carvão, ton	39.869,3	35.938	4,3	2.674
Efluentes Animais (Cabeças)*				
Bovino	1.963.812,0	2.314.395	278,1	172.202
Equino, Asinino e Muar	89.143,3	163.549	19,7	12.169
Suíno	295.103,2	144.237	17,3	10.732
Caprino e Ovino	49.311,0	2.675	0,3	199
Ave	15.206.576,3	479.515	57,6	35.678
Efluentes Domésticos e Comerciais	3.392.775,0	64.310	18,5	4.785
Resíduos Sólidos Urbanos (Habitantes)	3.392.775,0	168.237	20,2	12.518
Biomassa Total		4.343.608	539,7	323.185

Resultados ASPE 2012. Fonte IBGE, ano base 2010. Metodologia do CENBIO, 2009. * dados IBGE de 2000 a 2009. ** Considerado de 25% o rendimento do Grupo Motogerador.

3.4.5 Hidrogênio

O Hidrogênio é indicado como um dos combustíveis mais relevantes nas rotas para a neutralização das emissões de GEE. O hidrogênio pode ser utilizado diretamente como fonte de energia de baixo ou nulo carbono nos setores em que a eletrificação é mais difícil - a depender de seu processo de produção, e como forma de armazenamento de energia, viabilizando maior entrada de energias renováveis variáveis, como a eólica e solar. Nesse último caso, a ideia central é usar energias renováveis para obter o hidrogênio por meio da eletrólise da água, e posterior conversão do hidrogênio em eletricidade por meio de células combustíveis.

O potencial de emissão de GEE do hidrogênio depende significativamente do seu processo de produção, que pode possuir uma elevada emissão de CO₂ para atmosfera (hidrogênio produzido a partir de carvão mineral) ou uma emissão neutra quando o hidrogênio é obtido por meio da eletrólise da água empregando energias renováveis (hidrogênio verde). Em alguns casos, é possível associar a produção de hidrogênio à captura de carbono, gerando reduções das emissões de CO₂ para atmosfera (hidrogênio azul), ou uma emissão negativa, como na produção de hidrogênio a partir de biocombustíveis associada ao emprego de CCUS para captura do CO₂ resultante do processo (hidrogênio musgo).

Vários países anunciaram estratégias e políticas para o hidrogênio como mecanismo chave da transição energética. EUA, Japão e União Europeia (em particular Alemanha, França e Portugal) lançaram políticas estratégicas para amplificar seu uso, que vão desde injeção de hidrogênio verde na rede de gás natural até a construção de postos de abastecimento de hidrogênio, com a expectativa de acelerar as reduções de custos dessa rota tecnológica.

A forma de obtenção caracteriza a nomenclatura empregada para os diferentes tipos de hidrogênio, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Classificação dos principais tipos hidrogênio em escada de cores.

Classificação	Descrição
hidrogênio preto	produzido de carvão mineral (antracito) sem CCUS
hidrogênio marrom	produzido de carvão mineral (hulha), sem CCUS
hidrogênio cinza	produzido do gás natural sem CCUS
hidrogênio azul	produzido a partir de gás natural (eventualmente, também a partir de outros combustíveis fósseis) com CCUS*
hidrogênio turquesa	produzido por craqueamento térmico do metano, sem gerar CO ₂ *
hidrogênio verde	produzido a partir de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar) via eletrólise da água
hidrogênio musgo	produzido de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS, através de reformas catalíticas, gaseificação ou biodigestão anaeróbica**

* A produção de hidrogênio azul ou turquesa não pode ser considerada totalmente isenta de emissões, visto que existem emissões fugitivas significativas, principalmente no estágio atual de maturação da tecnologia.

** Produção de hidrogênio a partir de biocombustíveis associada ao emprego de CCUS para captura do CO₂ resultante do processo pode levar a emissão negativa.

O principal desafio na produção do hidrogênio está relacionado aos custos. A Figura 36 apresenta as faixas de custos da produção de hidrogênio por cada tipo de tecnologia. É possível observar que os custos de geração de hidrogênio por fontes fósseis são menores que a eletrólise com geração elétrica renovável. Entretanto, esse panorama está mudando rapidamente com os esforços de ampliação do uso do hidrogênio, como apresentado nas curvas de projeção de custo do hidrogênio (EPE, 2021) da Figura 37.

No Brasil, o hidrogênio compõe a estratégia energética brasileira no Plano Nacional de Energia 2050 (Brasil, 2020). O PNE 2050 aponta o hidrogênio como uma tecnologia disruptiva, sendo descrito como elemento da estratégia de descarbonização da matriz energética. O PNE inclui a inserção dos recursos energéticos distribuídos e busca por ampliação das formas de armazenamento e gestão da flexibilidade, além de citar o hidrogênio no setor de transportes e a inserção de veículos elétricos, com a perspectiva tecnológica da aplicação de células a combustível em combinação com a produção de

hidrogênio a partir de biocombustíveis e gás (gás natural e biometano). Além disso, o PNE 2050 também prevê a perspectiva de mistura de hidrogênio nas redes de gás natural, como forma de ampliação dos volumes de hidrogênio para fins energéticos e de transição.

Saiba mais:

Hidrogênio – Estágio de desenvolvimento

É importante esclarecer que a composição e mapeamento da oferta e a demanda de hidrogênio ainda não estão totalmente configurados. Estudos e análises ainda estão em andamento. Por exemplo, uma das principais prováveis demandas por hidrogênio verde é um eventual uso como redutor no processo de fabricação do aço, porém estas tecnologias ainda estão sendo desenvolvidas e estão em estágio piloto de utilização, indicando que ainda falta uma base sólida para estabelecimento da demanda, no momento.

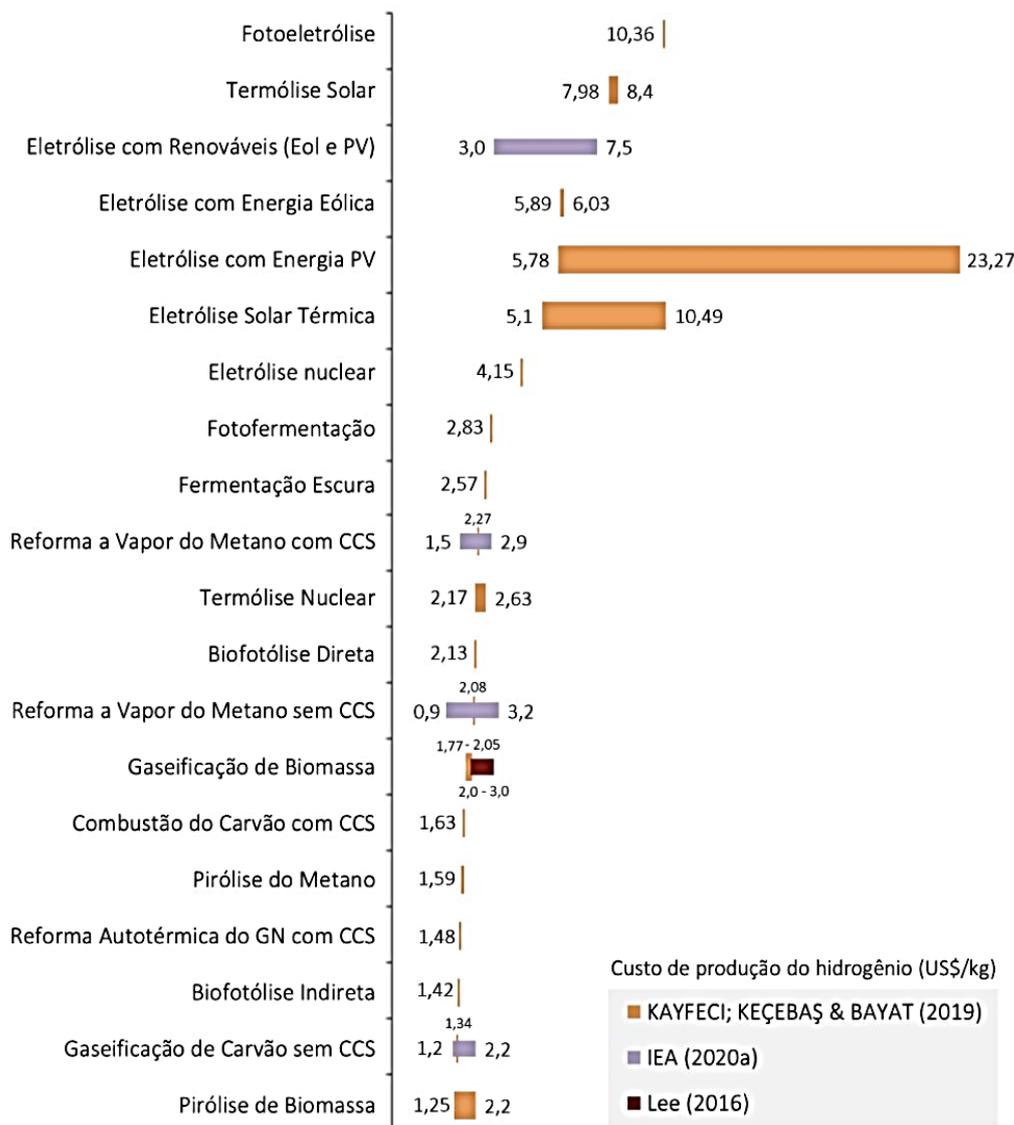


Além disso, o próprio modelo de oferta ainda está em discussão. Segundo o documento que descreve as Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio, construído pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), o modelo de negócios ainda deve ser decidido pelo mercado, visto que eletrolisadores ou reformadores podem ser instalados próximos ao local de abastecimento ou consumo. Desta forma, a decisão entre produção centralizada ou distribuída do hidrogênio pode contornar a inexistência de uma rede de transporte e de distribuição.

Neste quesito a SIEMENS ENERGY, publicou recentemente um relatório sobre a conversão de redes de gás natural para transporte de hidrogênio (SIEMENS ENERGY, 2020) indicando que, uma vez que as propriedades físicas e químicas do hidrogênio diferem significativamente das do gás natural, não é possível simplesmente trocar gás natural por hidrogênio no sistema existente. Um fator limitante é a durabilidade dos dutos existentes, que em alguns casos podem se degradar quando expostos ao hidrogênio por longos períodos. O efeito é altamente dependente do tipo de aço e deve ser avaliado caso a caso. O custo das modificações é significativamente inferior ao custo de construção de uma rede nova, com um investimento estimado de 10-15% do custo de uma nova construção. Além disso, as tecnologias para converter a infraestrutura de gás para operação de hidrogênio já estão amplamente disponíveis. Alternativamente, uma possibilidade para expandir rapidamente a infraestrutura de entrega de hidrogênio é adaptar parte da infraestrutura de entrega de gás natural para acomodar o hidrogênio, que tem sido apontada por EUA e EU. A conversão de gasodutos para transportar uma mistura de gás natural e hidrogênio (até cerca de 15% de hidrogênio) pode exigir apenas modificações modestas no gasoduto.

Saiba mais sobre este tema em:

- Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio – EPE
[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidroge%CC%82nio_rev01%20\(1\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidroge%CC%82nio_rev01%20(1).pdf)
- Hydrogen infrastructure – the pillar of energy transition: The practical Conversion of long-distance gas networks to hydrogen operation - SIEMENS ENERGY
https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:3d4339dc-434e-4692-81a0-a55adbcaa92e/200915-whitepaper-h2-infrastructure-en.pdf?ste_sid=5b92b921fa7994a7e67b4514564f2b8c



Densidade de energia do hidrogênio é igual a 33,6 kWh de energia utilizável por kg (RMI, 2019)

Figura 36. Faixas de custos da produção de hidrogênio. Fonte: EPE (2021).

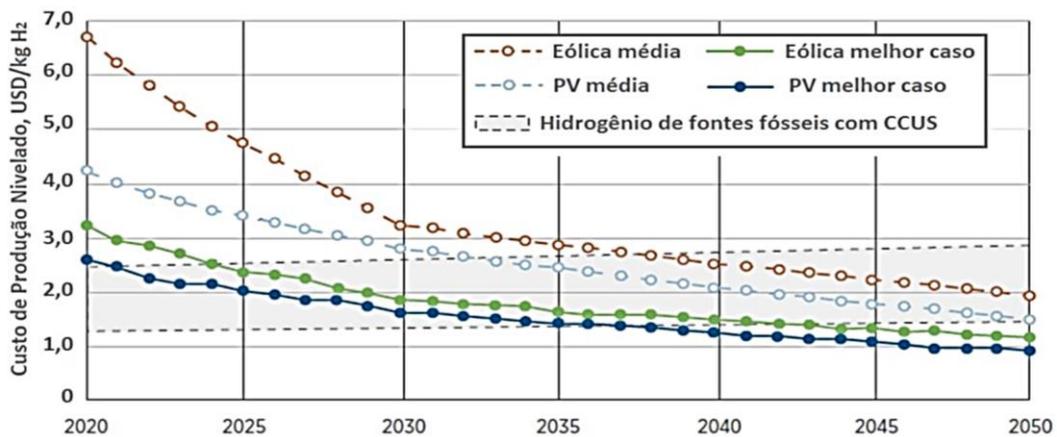


Figura 37. Curvas de projeção de custo do hidrogênio. Fonte: EPE (2021).

Saiba mais:

Hidrogênio – Custos e investimentos



A economia de hidrogênio está em estágio inicial de desenvolvimento e, assim, seu sucesso dependerá da ação conjunta entre as iniciativas pública e privada. A regulação do setor é um ponto importante para estimular novos projetos. No caso do Brasil, além do recém-lançado Plano Nacional do Hidrogênio (PNH2), vários governos estaduais, como os do Ceará, do Rio Grande do Norte e de Minas Gerais, têm anunciado o desenvolvimento de estratégias para atração de investimentos no setor de produção de Hidrogênio Verde (H₂V).

Segundo relatório do IPEA (IPEA, 2022) sobre o Panorama do Hidrogênio no Brasil, os custos de transporte e armazenamento desempenharão um papel significativo na competitividade. Se o H₂V puder ser usado perto de onde é produzido, esses custos podem ser próximos de zero. Contudo, se o H₂V tiver que percorrer um longo caminho antes de poder ser usado, os custos de transporte podem ser três vezes superiores aos custos de produção.

O relatório também indica que existem 23 complexos offshore com processos abertos de licenciamento no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), que totalizam 46,6 GW de potência instalada. Os portos com eólicas offshore são modelos preferidos para Hidrogênio no Brasil, pois os clusters industriais costeiros podem ser portais para a construção de hubs de hidrogênio. Em 2020, foi anunciado o primeiro hub de H₂V do Brasil, no Ceará. O projeto tem uma meta de produzir 900 mil toneladas de H₂V por ano a partir de capacidade de eletrólise de 5 GW

Os investimentos já anunciados para construção de usinas produtoras de H₂V no Brasil chegam a mais de US\$ 27 bilhões, a maioria concentrados em portos – Pecém (CE), Suape (PE) e Açú (RJ).

Saiba mais sobre este tema em:

- Panorama do Hidrogênio no Brasil – IPEA
https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf
- Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro – Energy Partnership German-Brazilian
https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user_upload/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2h.pdf

A nota técnica “Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio” (EPE, 2021) produzida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia, aponta que:

“... o Brasil deve abraçar as oportunidades de desenvolvimento das diversas tecnologias de produção e uso do hidrogênio, inclusive o hidrogênio “verde”, no qual pode ser bastante competitivo, mas não se limitando exclusivamente a este. Essa abordagem se mostra como a mais consistente e promissora para viabilizar uma trajetória de descarbonização profunda dos sistemas energéticos, acelerando a formação de mercados, evitando trancamentos tecnológicos e tirando proveito da diversidade de recursos energéticos do país.” – p.28

Para o ES, o hidrogênio é bastante relevante devido a 3 fatores principais:

1. O potencial eólico *offshore* do ES pode ser empregado como importante fonte de energia para a produção do hidrogênio verde. De fato, a empresa canadense *AmmPower* assinou um Memorando de Entendimento com o Porto Central (projeto no sul do ES) para a instalação de uma unidade de produção, armazenamento e distribuição de amônia verde, produzida a partir do hidrogênio verde. Os empreendimentos eólicos *offshore*, atualmente em licenciamento na região, conforme descrito na Seção 2.2.4.1, são bastante relevantes nesse contexto.
2. Uma das principais atividades industriais do Estado, a produção do aço, já apresenta essa como uma das principais vias de neutralização das emissões de GEE, utilizando essa tecnologia nos processos de redução direta de ferro-gusa, baseados em hidrogênio. De fato, uma siderúrgica local já sinalizou o emprego de hidrogênio verde como solução relevante para a neutralização de suas emissões, caracterizando uma demanda futura importante para a região, a partir do momento em que as tecnologias disruptivas, baseadas em utilização do hidrogênio como agente redutor evoluírem das etapas piloto para escalas significativas em termos de mercado e produção.
3. O potencial de gás natural do Estado pode viabilizar a produção de hidrogênio azul. Entretanto, é necessário destacar que a produção de hidrogênio azul não pode ser considerada totalmente isenta de emissões de CO₂, visto que existem emissões fugitivas significativas, principalmente no estágio atual da tecnologia.

Outras formas de energias renováveis disponíveis no ES podem ser empregadas para produção de hidrogênio verde, destacando-se a solar e biomassa, especialmente. O

hidrogênio é uma rota tecnológica bastante relevante para o ES, principalmente quando levado em consideração as condições de demanda já identificadas, o potencial de produção e projetos já anunciados.



4

ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GEE DO ES

Atualmente, existem disponíveis dois inventários gerais de emissões de gases de efeito estufa, com separação por estado, sendo esses: o Inventário Nacional de Emissões do Sistema de Registro Nacional de Emissões - SIRENE (MCTI, 2021), desenvolvido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; e o Inventário do Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa (SEEG), mantido pelo Observatório do Clima¹⁶ (OC, 2021). Ambos os sistemas contam com estimativa de emissão por estado e por setor (Energia, Indústria, Resíduos e AFOLU – Agropecuária, Floresta e Mudança do Uso do solo). As estimativas e cálculos foram realizadas com base nas formulações recomendadas pelo Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC; sigla em inglês). Esses inventários são razoavelmente completos e atualizados, servindo como ponto de partida adequado para identificação de estratégias de mitigação.

É importante ressaltar que, os inventários devem ser refinados, revalidados e baseados em uma metodologia comum e de referência internacional. De fato, o emprego de dados locais para o refinamento do inventário pode melhorar sua precisão de maneira significativa. Nesse contexto, a produção de um inventário estadual de emissões de GEE, incluindo informações detalhadas do Estado, já está em andamento como parte das ações previstas no Plano Estadual de Mudanças Climáticas. A medida que novas informações sobre as emissões de GEE do ES são disponibilizadas, essas são gradualmente incorporadas ao Plano de Neutralização das emissões de GEE do ES.

No presente diagnóstico, serão inicialmente consideradas as estimativas de emissão de GEE do SEEG, complementadas pelas informações contidas no SIRENE (MCTI, 2021b, 2022). Esta seleção se deve ao fato de que

¹⁶ O Observatório do Clima é uma rede de organizações não governamentais dedicada ao estudo e discussão das mudanças climáticas no Brasil.



SEEG

O inventário de emissões de GEE do SEEG foi elaborado por uma equipe de profissionais especializados seguindo metodologia publicada em Azevedo et al. (2018) (detalhamento também disponível em <http://seeg.eco.br/notas-metodologicas/>), observando as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) e a metodologia dos Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI).

Os resultados e base de dados do SEEG podem ser acessados livremente por meio eletrônico no endereço: <https://seeg.eco.br/>.

o SEEG apresenta dados atualizados por estados e municípios até 2020, enquanto o SIRENE apresenta dados somente até o ano de 2016. Para fins do presente diagnóstico, serão consideradas as emissões agregadas de todos os GEE contemplados nos Inventários Brasileiros, convertidos em equivalente de dióxido de carbono (CO₂e) utilizando-se os fatores de aquecimento global (GWP) definidos no 5º Relatório de Avaliação do IPCC (AR5).

Atividades dentro de uma região ou estado podem gerar emissões de GEE que ocorrem tanto dentro como fora de seus limites geográficos. Para distingui-los, os protocolos para cálculo de emissões (PROGRAMA BRASILEIRO GHG, 2011; e C40 Cities, ICLEI, WRI, 2014) agrupam as emissões em três categorias com base em onde ocorrem: emissões de escopo 1, escopo 2 ou escopo 3, conforme definido na Tabela 8.

As definições na Tabela 8 são apresentadas com base em uma adaptação do framework de escopos utilizado no GHG Protocolo Padrão Corporativo (C40 Cities, ICLEI, WRI, 2014). O GPC distingue entre emissões que fisicamente ocorrem dentro dos limites geográficos da região (escopo 1), daquelas que ocorrem fora da região, mas são impulsionados por atividades que ocorrem dentro dos limites geográficos da região (escopo 3), e daquelas que ocorrem a partir do uso de eletricidade, vapor e/ou aquecimento/resfriamento fornecidos por grids externos (escopo 2). As emissões do escopo 1 também podem ser chamadas de emissões “territoriais”, porque são produzidos exclusivamente dentro do território definido pela fronteira geográfica.

Tabela 8. Definições de escopos para inventários regionais. Fonte: (C40 Cities, ICLEI, WRI, 2014).

Escopo	Definição
Escopo 1	Emissões de GEE de fontes localizadas dentro dos limites geográficos da região
Escopo 2	Emissões de GEE que ocorrem como consequência de o uso de eletricidade fornecida pela rede, calor, vapor e/ou resfriamento dentro dos limites geográficos da região
Escopo 3	Todas as outras emissões de GEE que ocorrem fora os limites da cidade como resultado de atividades ocorrendo dentro dos limites geográficos da região

A Figura 38 ilustra quais fontes de emissão ocorrem exclusivamente dentro do limite geográfico estabelecido para o inventário, quais ocorrem fora do limite geográfico, e quais

podem ocorrer através da fronteira geográfica. Enquanto as emissões de escopo 1 e 2 são mais facilmente calculadas, visto que são baseadas nas emissões diretas e no consumo de eletricidade importada pelo Estado, as emissões do escopo 3 são de quantificação mais complexa pois envolvem a análise das cadeias produtivas e de suprimentos do ES de maneira mais aprofundada e detalhada. Neste contexto, o inventário de emissões baseia-se apenas nas emissões de escopo 1 e 2.

Os inventários do SEEG e do SIRENE consideram apenas as emissões escopo 1 dos estados e municípios. Uma vez que o Espírito Santo consome mais eletricidade do que o total produzido no Estado, é necessário adicionar as emissões diretas relacionadas ao consumo líquido de eletricidade do Sistema Interligado Nacional (SIN), as quais serão aqui identificadas por emissões associadas a Eletricidade-Escopo 2. Neste plano, essas emissões serão calculadas com base na diferença entre o consumo total de eletricidade do Estado e a produção total de eletricidade no território capixaba (reportados no Balanço Energético do Espírito Santo - BEES), utilizando-se fatores de emissão (ton CO₂e/MWh) específicos, recomendados pelo Sistema de Registro Nacional de Emissões (MCTI, 2021b).



Figura 38. Escopos e fontes de emissão no método GPC. Fonte: Prefeitura de São Paulo (2021), adaptado de Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories, GPC (C40 Cities, ICLEI, WRI, 2014).

De acordo com o SEEG, as emissões brutas de GEE do Espírito Santo (escopo 1) no ano de 2020 totalizaram 30.305.600 ton CO₂e. Descontando-se as remoções de GEE, as emissões

líquidas do Estado (escopo 1) nesse mesmo ano foram de 28.600.030 ton CO₂e. No ano de 2020, as emissões associadas a Eletricidade-Escopo 2 foram de 375.199 ton CO₂e, correspondendo a 1,2% do total de emissões do Estado. De modo geral, as emissões por Eletricidade-Escopo 2 representam uma parcela pequena do total de emissões do Estado (variando de 0,6% a 2,4% entre 2008 e 2020).

A Figura 39 apresenta a evolução das emissões brutas de GEE do Espírito Santo, por setor, entre 1990 e 2020. Pode-se observar um aumento expressivo das emissões de GEE entre 2008 e 2015, majoritariamente nos setores de Resíduos, Energia e Processos Industriais. Em anos mais recentes (2016 a 2020), houve uma leve queda nas emissões de GEE, observada em todos os setores, com exceção para o setor de Resíduos.

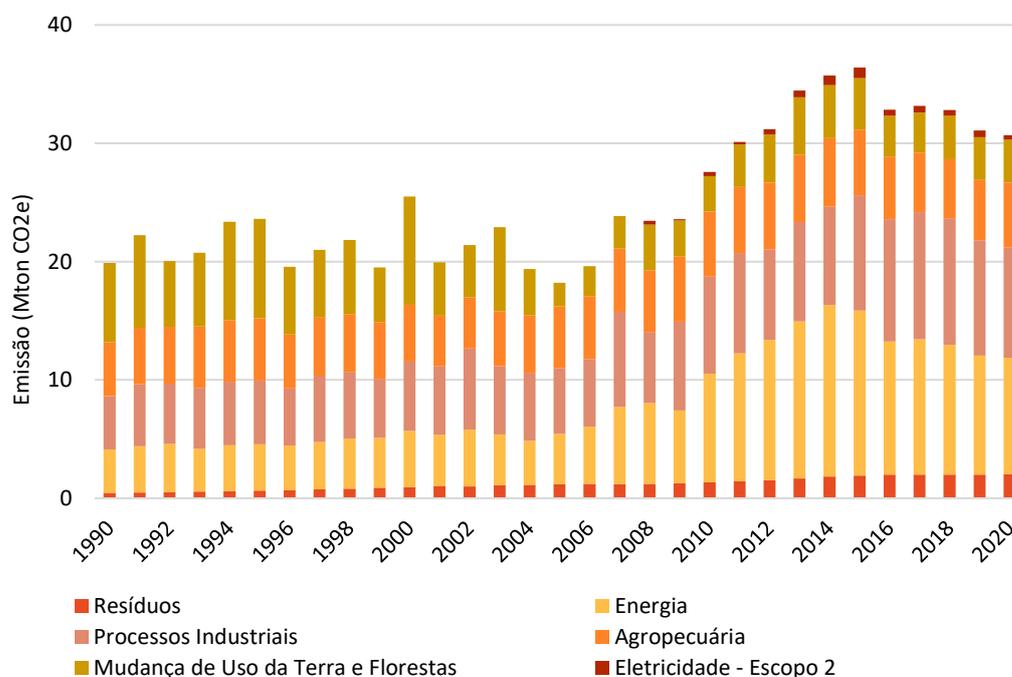


Figura 39. Evolução das emissões brutas de GEE do Espírito Santo, por setor fonte, de 1990 a 2020, exceto para Eletricidade – Escopo 2 (2008-2020). Fonte: SEEG (OC, 2021).

As emissões brutas de GEE do Espírito Santo corresponderam a 1,4% das emissões do Brasil, em 2020. A Figura 40 mostra a contribuição percentual de cada setor para as emissões do ES e Brasil, evidenciando que a composição das emissões do Espírito Santo é significativamente diferente das emissões do Brasil. No Brasil, a contribuição das emissões do setor de Mudanças do Uso da Terra e Florestas é bastante acentuada (46%) devido, principalmente, ao desmatamento na região amazônica. Já no Espírito Santo, a contribuição das emissões do setor de Mudanças do Uso da Terra e Florestas não é tão

acentuada (12%). As principais contribuições para as emissões de GEE no ES vêm dos setores Processos Industriais (31%) e Energia (32%).

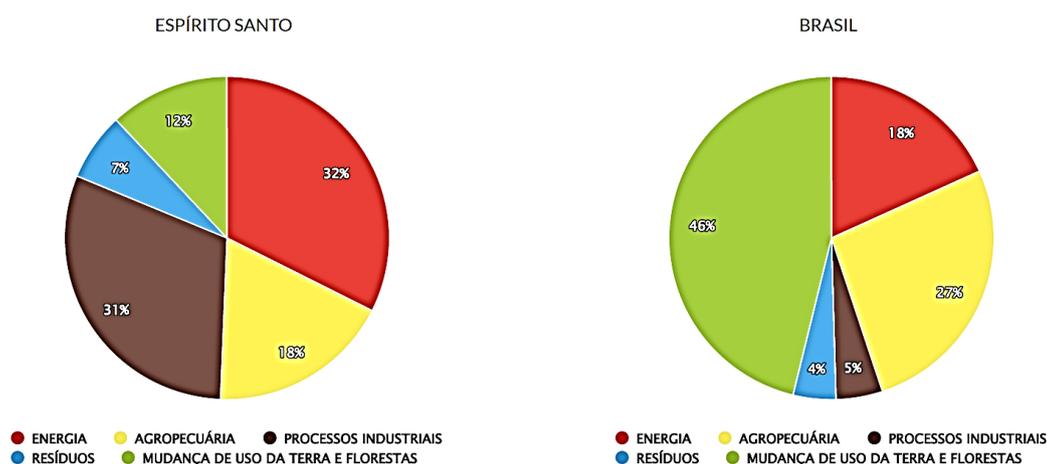


Figura 40. Participação relativa dos setores fonte nas emissões de GEE do Espírito Santo e do Brasil (escopo 1), no ano de 2020. Fonte: SEEG (OC, 2021).

Ao observar as emissões agrupadas do setor Agropecuária + Mudanças do Uso da Terra e Florestas (AFOLU) percebe-se que este grupo responde por 73% das emissões no Brasil, mas esse grupo corresponde a apenas 30% das emissões do ES. O perfil das contribuições para emissões do ES possui maior similaridade com outros estados da região Sudeste do que com os perfis de emissões média do Brasil. Esse fator evidencia as particularidades e os desafios regionais que devem ser enfrentados por cada estado. De fato, o perfil de contribuições das emissões do ES é quase que dividido igualmente entre 3 setores: Processos Industriais, Energia e AFOLU, com um pouco mais de 30% em cada setor, sendo o restante das emissões correspondentes ao setor de Resíduos. Também é importante enfatizar que as remoções de GEE do ES, no valor de 1.705.570 ton CO₂e, estão somente relacionadas ao setor AFOLU.

A Figura 41 apresenta uma comparação da emissão per capita de GEE do ES com outras regiões do mundo, empregando os dados disponibilizados pelo IPCC (IPCC, 2022). Em termos de emissões per capita de GEE no Espírito Santo, no ano de 2020, as emissões bruta e líquida foram de 7,55 e 7,13 ton CO₂e, respectivamente. Esses valores são aproximadamente equivalentes às emissões na Europa e menores que as emissões líquidas de GEE médias de outras regiões em desenvolvimento, como na América Latina, Caribe e Leste Asiático, e significativamente inferiores às emissões per capita dos Estados Unidos.

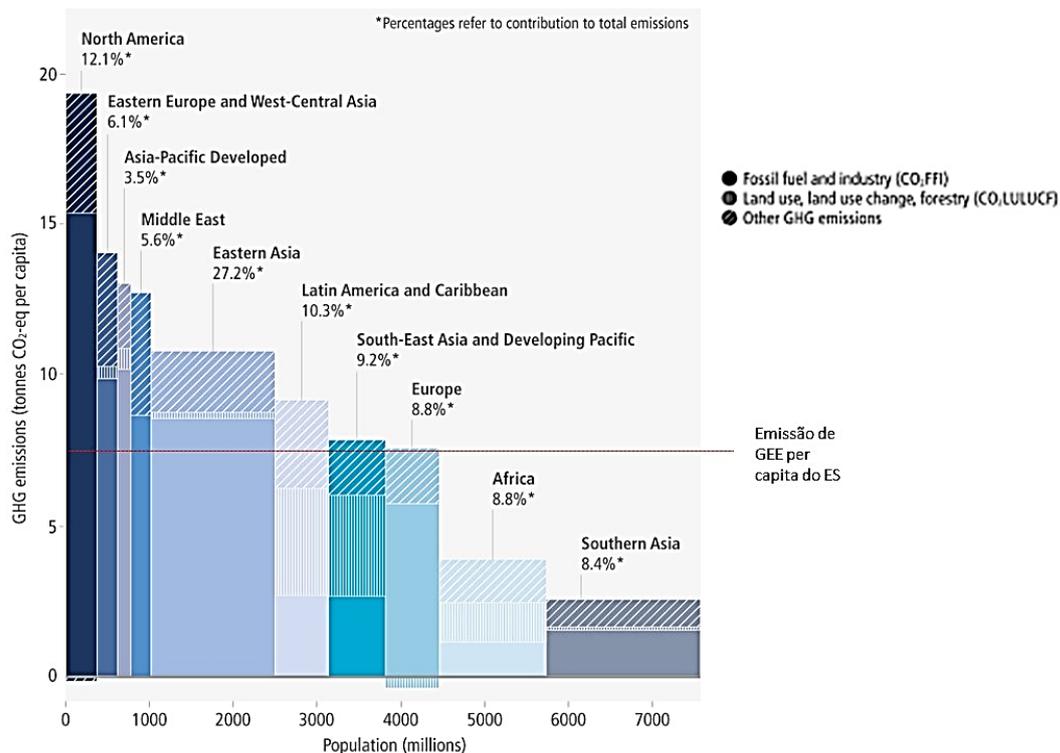


Figura 41. Comparação da emissão per capita de GEE do ES com outras regiões do mundo. Fonte: Adaptado de IPCC (2022).

A Tabela 9 mostra os dados de emissão e a participação em percentual dos setores na emissão bruta e líquida de GEE do ES. É possível notar que o setor AFOLU, responsável por 30% das emissões brutas, tem sua contribuição líquida reduzida para 26%, quando são consideradas as remoções de carbono do setor. É importante enfatizar o potencial do ES para processos de remoção de grandes quantidades de GEE no setor de AFOLU, principalmente associado ao reflorestamento e preservação florestal, podendo atuar como uma importante fonte de compensação das emissões.

Tabela 9. Emissão [Mton CO₂e] e a participação % dos setores na emissão bruta e líquida do ES.
Fonte de dados: SEEG.

Setor	Emissões Brutas		Remoções	Emissões Líquidas	
	Mton CO ₂ e	%	Mton CO ₂ e	Mton CO ₂ e	%
AFOLU	9,18	30%	1,71	7,48	26%
Energia	9,83	32%	–	9,83	34%
Processos Industriais	9,29	30%	–	9,29	32%
Eletricidade - Escopo 2	0,38	1%	–	0,38	1%
Resíduos	2,05	7%	–	2,05	7%
Total	30,73	100%	1,71	29,03	100%

As próximas seções apresentam o detalhamento das emissões por setor. As emissões brutas e remoções são apresentadas separadamente para permitir a análise do impacto dos processos de remoção e subsidiar a identificação das melhores e mais adequadas estratégias para a neutralização das emissões de GEE do ES.

4.1 AFOLU

Conforme citado anteriormente, as emissões brutas do setor AFOLU equivalem a 9,18 Mton CO₂e, dos quais 5,56 Mton CO₂e são do setor Agropecuária e 3,62 Mton CO₂e são do setor de Florestas e Mudança do Uso do Solo. A Figura 42 apresenta os dados de emissão bruta para o setor Agropecuária, pode-se observar que as principais emissões estão relacionadas à pecuária bovina, especificamente, gado de corte e gado de leite, respectivamente, com participações de 60% e 14%. Em seguida, aparecem as contribuições de fertilizantes sintéticos e uso de calcário, com 8% e 6% de contribuição, respectivamente. O restante das atividades contribui com 11% das emissões do setor.

Importante ressaltar que o Inventário Nacional não inclui para o setor Agropecuário as emissões/remoções devido a retenção de carbono no solo. Segundo o SEEG:

"A variação nos estoques de carbono do solo se refere as emissões e remoções de CO₂ da matéria orgânica do solo. Essa variação, no entanto, não é reportada nos inventários nacionais devido à dificuldade em se obter os dados de atividade e fatores de emissão e remoção de CO₂ para a efetuação desse cálculo, assim como a fatores ligados ao aspecto de permanência (IPCC, 2006).

Entretanto, devido a sua importância no balanço das emissões de GEE do Setor de Agropecuária e ao fato de o êxito da NDC Brasileira para esse setor estar ligado ao aspecto do sequestro de carbono nos solos (remoção de CO₂) (Brasil, 2015), o SEEG desde sua quarta versão fez o exercício de se calcular essa variação para os solos utilizados pela agropecuária brasileira. Entretanto, os resultados foram categorizados como Não Contabilizados no Inventário Nacional (NCI)." (p. 50)

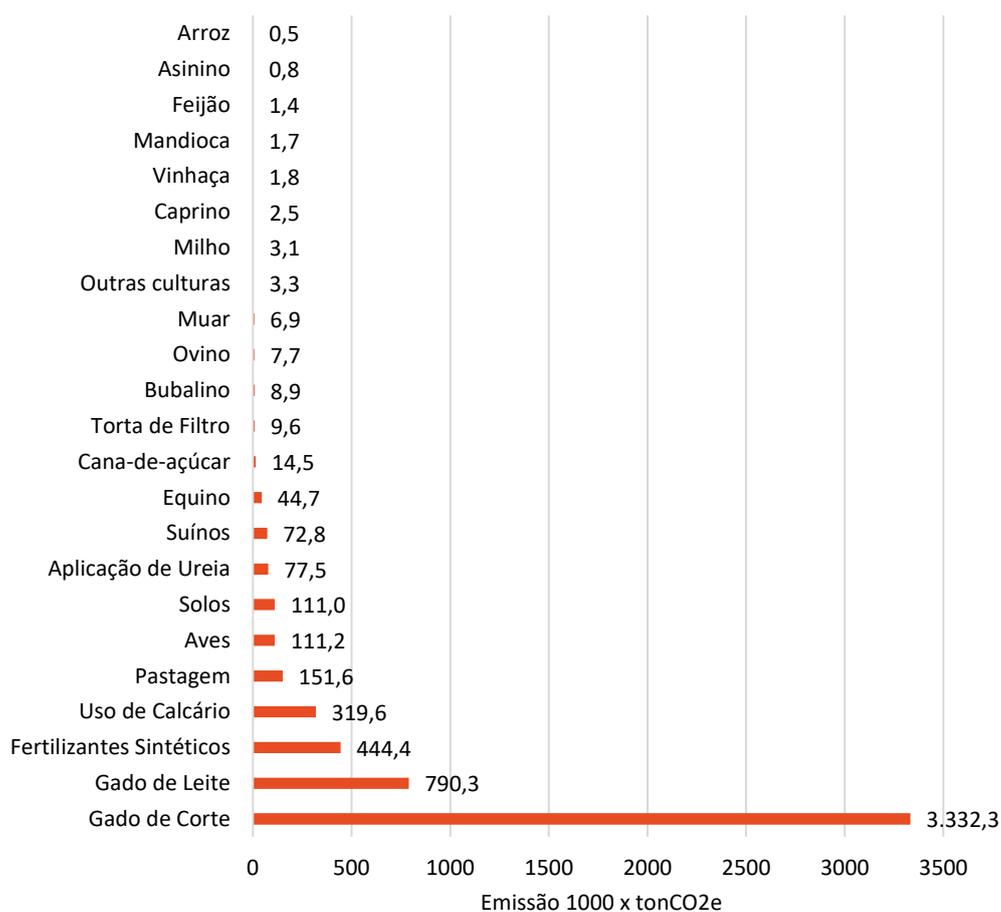


Figura 42. Emissões do setor Agropecuário em 2020. Fonte: SEEG (OC, 2021).

As emissões/remoções Não Contabilizados no Inventário Nacional (NCI) alteram consideravelmente o balanço líquido das emissões do setor Pecuária, que possui remoções NCI líquidas de 626.279 ton CO₂e (- 1.225.309 ton CO₂e por remoções em pastagens bem manejadas + 599.030 ton CO₂e por emissões em pastagens degradadas), reduzindo as emissões líquidas de 4,12 Mton CO₂e para 3,49 ton CO₂e; ou seja, uma redução percentual de aproximadamente 15%.

A Tabela 10 mostra o valor das emissões/remoções NCI, ressaltando a importância de dois quesitos extremamente relevantes: o correto manejo de pastagens como fator crítico para as emissões de CO₂ para atmosfera; e a necessidade de dados adequados que permitam a inclusão de tais valores nos inventários. Adicionalmente, pode-se observar o potencial significativo de Sistemas Integrados Lavoura-Pecuária-Floresta.

Tabela 10. Emissão/Redução Não Contabilizada no Inventário Nacional (NCI) em 2020.

Emissão/Redução Não Contabilizada no Inventário Nacional (NCI)	Emissão [ton CO ₂ e]	Remoção [ton CO ₂ e]
Pastagem Degradada	599.030	–
Pastagem Bem Manejada	–	- 1.225.309
Florestas Plantadas	–	- 141.356
Sistemas Integrados Lavoura-Pecuária-Floresta	–	- 521.325
Total	- 1.288.960	

Em 2020, as emissões de Florestas e Mudança do Uso do Solo corresponderam a 3.617.248 ton CO₂e, sendo 94% referentes a alteração do uso do solo e 6% a resíduos florestais. Por outro lado, este setor removeu 1.705.570 ton CO₂e, com destaque ao papel das florestas secundárias, de modo que o saldo líquido de emissão foi de 1.911.678 ton CO₂e. Na

Tabela 11 são apresentados os dados de emissão e remoção de carbono de Florestas e Mudança do Uso do Solo em 2020 no Estado do ES.

Considerando as emissões/reduções devidas à variação nos estoques de carbono do solo (NCI) e as remoções devidas a Florestas e Mudança do Uso do Solo, existe um saldo líquido de remoções igual a 2.99 ton CO₂e, que corresponde a uma redução de emissões de 9,18 Mton CO₂e para 6,19 Mton CO₂e; ou seja, uma redução de 33% das emissões. Estes números ressaltam a importância de três estratégias relevantes para o setor: Pastagens Bem Manejadas, Sistemas Integrados Lavoura-Pecuária-Floresta e Recuperação/Manutenção Florestal. Esses números indicam o potencial de transformar o setor AFOLU em uma grande fonte de compensações de emissão de GEE não apenas para o setor AFOLU, mas para todos os setores do ES. Tais aspectos serão discutidos detalhadamente no próximo capítulo que trata do planejamento das estratégias para neutralização das emissões de GEE para cada setor.

Tabela 11. Dados de emissão e remoção de carbono de Florestas e Mudança do Uso do Solo, em 2020, no ES. Fonte: SEEG.

Emissão de carbono	Valor emitido em tonCO ₂ e
Alteração do uso do solo	3.415.114
Resíduos florestais	202.134
Total emitido	3.617.248

Remoção de carbono (sequestro)	Valor sequestrado em tonCO ₂ e
Áreas protegidas	- 111.381
Mudanças do uso do solo	- 120.873
Vegetação secundária	- 1.471.316
Total removido	- 1.705.570

4.2 Energia

Conforme já citado, as emissões brutas diretas do setor Energia no ano de 2020 foram de 9,83 Mton CO₂e, estando relacionadas à queima de combustíveis e emissões fugitivas na produção de combustíveis para as diversas atividades da economia do ES. Em 2020, as emissões associadas à Importação de Eletricidade (Escopo 2) foram de 0,38 Mton CO₂e. Quando somadas as emissões escopo 1 e 2, totalizam-se uma emissão do setor de Energia no ES de 10,20 Mton CO₂e, correspondendo a 33% das emissões totais de GEE do ES. A Figura 43 apresenta as emissões de GEE do setor Energia para as diversas atividades no ES, em 2020. É possível observar que a atividade com maiores emissões é Transportes, sendo responsável por 38,2% das emissões do setor. A seguir aparecem as contribuições da Exploração de Petróleo e Gás Natural (28,8%), Indústria (14,3%), Geração de Eletricidade (9,9%), e Residencial (4,0%). As emissões associadas à Importação de Eletricidade (Escopo 2) correspondem a somente 3,7% das emissões do setor de Energia. Os demais setores são responsáveis por apenas 1,2% das emissões do setor de Energia.

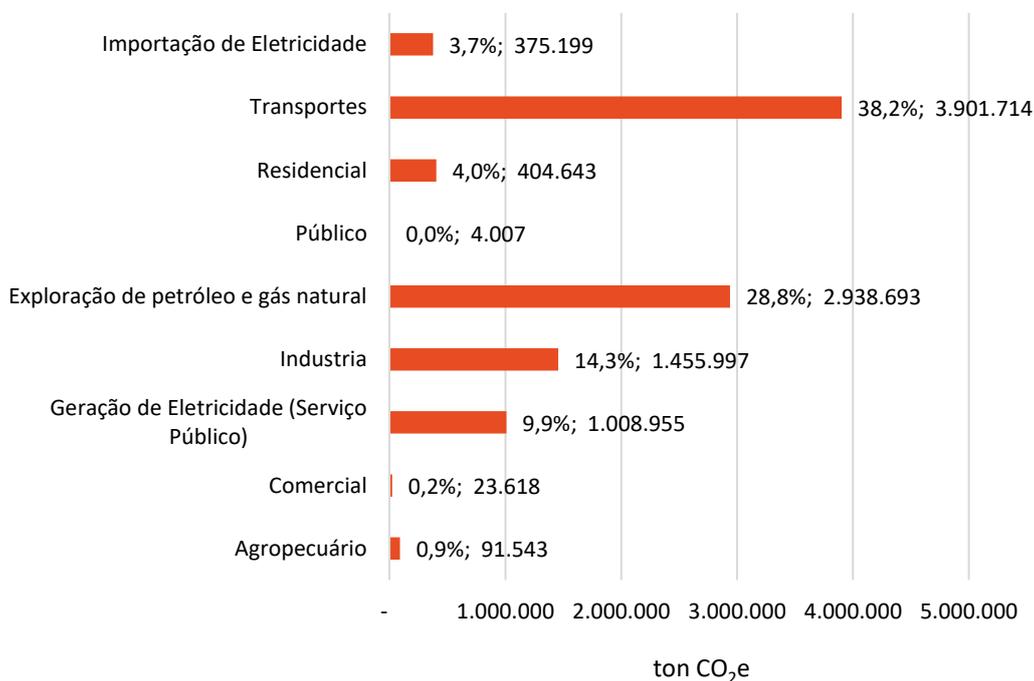


Figura 43. Emissões de GEE relacionadas à queima de combustíveis e emissões fugitivas na produção de energia para as atividades do ES e Importação de Energia Elétrica. Fonte: SEEG (OC, 2021).

Intrinsicamente, o setor de Energia é ligado a uma série de atividades econômicas de relevância para o Estado, tanto por meio de consumo direto de combustíveis (em atividades industriais, agropecuárias e de transportes, por exemplo), como emissões fugitivas na indústria de petróleo e gás, ou consumo indireto de energia combustível transformada em energia elétrica.

4.2.1 Transportes

O setor de Transportes é um dos principais geradores de GEE no mundo. No Brasil, com grande parte da matriz energética sendo oriunda da geração de energia hidrelétrica, esta contribuição torna-se ainda mais relevante. O subsetor de Transportes é o principal responsável pelas emissões dentro do setor Energia no ES.

A Figura 44 apresenta a emissão de CO₂e por combustível utilizado no setor de Transportes do ES. Pode-se perceber que o diesel e a gasolina automotiva têm a maior participação no total de emissões do setor. O diesel é utilizado principalmente pelos caminhões, ônibus e locomotivas, enquanto a gasolina é principalmente utilizada pelos veículos leves.

Em 2020, o consumo de diesel e o de gasolina emitiram, respectivamente, 2.220.610,2 e 1.536.671,8 t CO₂e, representando, respectivamente, 57,5% e 37,4% das emissões do setor de Transporte no Estado. Vale destacar que, analisando o período de 2009 a 2020, a participação das emissões do diesel vem caindo ano a ano e a participação da gasolina tem sido crescente durante o período. Os outros tipos de combustíveis têm uma participação muito pequenas nas emissões totais do setor de Transportes. O crescimento das emissões sugere um maior uso da frota de automóveis em detrimento ao uso do transporte coletivo, corroborando com os dados das Figura 21 e Figura 23, que apresentam um crescimento da frota veicular, sobretudo, de carro e motos, e uma maior taxa de motorização. Diante disso, os resultados sinalizam que medidas de incentivo ao uso do transporte coletivo em substituição ao transporte particular são fundamentais para a redução das emissões do setor de Transportes.

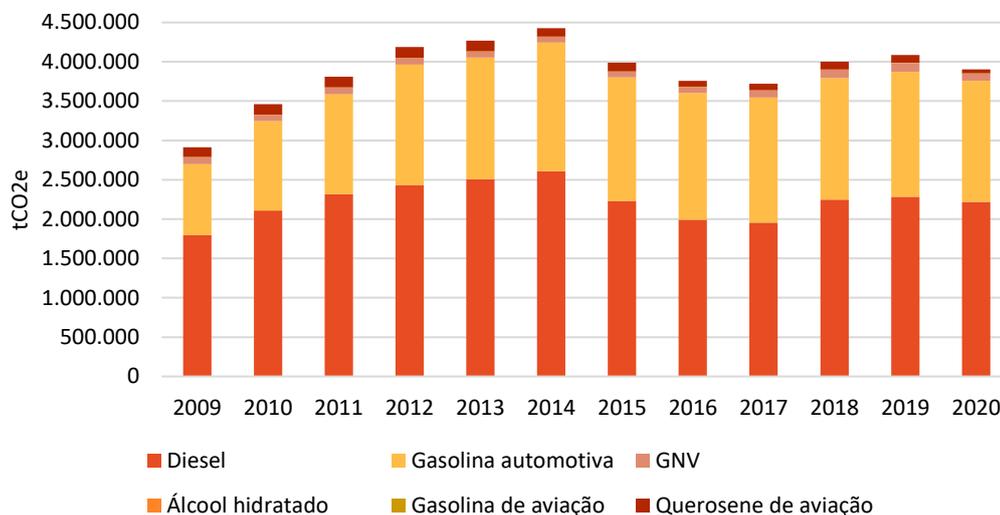


Figura 44. Emissão de CO₂e por combustível utilizado no setor de Transportes do ES. Fonte: adaptado de SEEG (OC, 2021).

A Figura 45 apresenta as emissões de CO₂e em 2020, por combustível utilizado em cada modo de transportes (aeroviário, rodoviário, ferroviário e hidroviário). É possível observar que o diesel e a gasolina utilizados no modo rodoviário representam a maior parcela das emissões do setor de Transportes. A maior parte das emissões referentes a diesel ocorrem no modo rodoviário (90%), 10% das emissões correspondem a modo ferroviário e apenas 1% ao modo hidroviário. Por outro lado, a gasolina está 100% ligada ao modo rodoviário, sendo esse responsável por 93% das emissões de Transportes.

Apesar de valores bem inferiores às emissões de diesel no modo rodoviário, atenção deve ser dada ao diesel utilizado no modo ferroviário, que representa em média 7,3% das emissões provenientes de diesel no período analisado. Basicamente, o diesel utilizado no modo ferroviário é consumido pelas locomotivas da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM). Convém ressaltar que, a empresa Vale já possui plano específicos de neutralização completa de suas emissões de GEE até 2050.

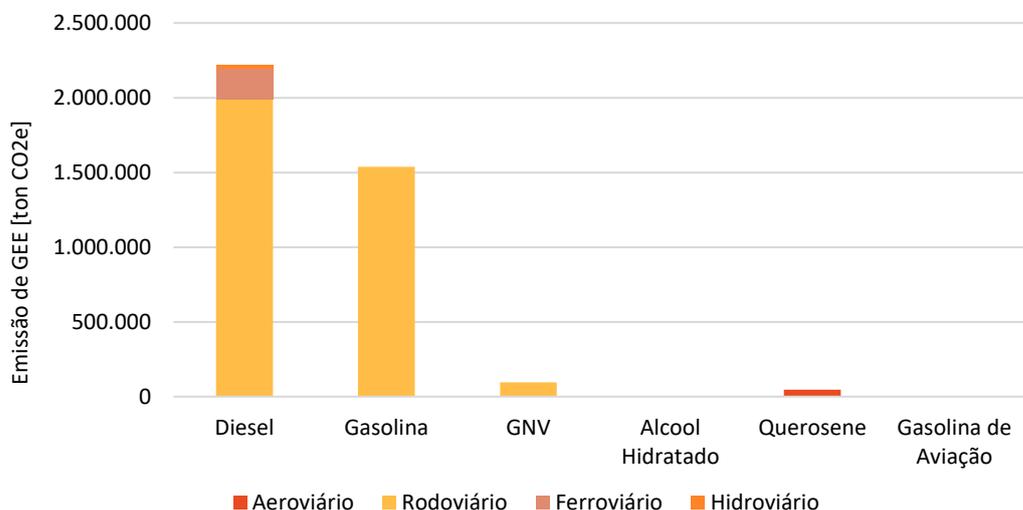


Figura 45. Emissão de CO₂e por combustível utilizado em cada subsetor de transportes (aeroviário, rodoviário, ferroviário e hidroviário), em 2020. Fonte: adaptado de SEEG (OC, 2021).

A Tabela 12 apresenta as emissões das funções do transporte (ton CO₂e) e sua contribuição nas emissões do setor, em 2020. Observa-se que a função transporte de carga é a mais expressiva, perfazendo um total de 51,5% das emissões do setor de Transportes, em que os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário participam, respectivamente, com 45,5%, 5,4% e 0,6% do total das emissões do setor.

O transporte particular, majoritariamente realizado por carros e motos, representa 38,4% do total das emissões do setor, uma contribuição relevante. Por outro lado, o transporte coletivo de passageiros no modo rodoviário representa 8,9% das emissões do setor de Transportes no ES, um valor baixo em relação às outras funções, evidenciando mais uma vez a necessidade de buscar estratégias atrativas aos passageiros de viagens particulares, para que esses migrem para o transporte coletivo. No âmbito das emissões por passageiro transportado, o transporte coletivo apresenta valores bem inferiores ao transporte particular, que em sua maioria transporta somente uma pessoa por veículo.

As taxas de emissão de cada setor são uma importante fonte de informação para a seleção de estratégias de mitigação das emissões. Por exemplo, a relevância do transporte particular nas emissões pode sugerir políticas de fomento à ampliação do transporte coletivo e à eletrificação da frota de veículos leves, seguindo estratégias adotadas por diversos países. Ao mesmo tempo, a importância das contribuições de diesel e gasolina nas emissões totais de GEE do setor sugere que rotas relevantes para a minimização das emissões considerem também a utilização de biocombustíveis (álcool hidratado, biodiesel,

diesel verde – HVO e outros). Tais medidas têm sido apontadas como rotas relevantes na estratégia energética brasileira no Plano Nacional de Energia 2050, aprovado em dezembro de 2020 pelo Ministério de Minas e Energia (Brasil, 2020). Entretanto, o uso intensivo de tais tecnologias ainda requer a superação de algumas barreiras econômicas e tecnológicas, que serão abordadas no próximo capítulo.

Tabela 12. Emissões das funções do transporte (tonCO₂e) e sua participação % nas emissões no setor de transporte no Estado do ES, em 2020. Fonte SEEG. Fonte: adaptado de SEEG.

Função	Modo	Emissão tonCO ₂ e	%
Transporte Coletivo	Aéreo	47.421,40	1%
	Rodoviário	347.808,20	9%
Transporte Particular	Rodoviário	1.498.389,40	38%
Transporte Carga	Ferrovário	210.614,70	5%
	Hidroviário	21.970,30	1%
	Rodoviário	1.775.510,10	46%

4.2.2 Produção de Combustíveis

O subsetor de Produção de Combustíveis é uma das maiores fontes de emissão de GEE do Estado. No Espírito Santo, esse subsetor é inteiramente composto pelas atividades de exploração de petróleo e gás natural. A Figura 46 apresenta os tipos de atividades responsáveis pelas emissões desse subsetor, em 2020. Observa-se que as emissões fugitivas são muito importantes dentro da Produção de Combustíveis, o que representa um ponto desafiador, uma vez que, muitas dessas emissões são de difícil controle, e mesmo sua quantificação apresenta grande incerteza (SEEG, 2021 – Nota Metodológica Setor de Energia). Por outro lado, boa parte das emissões de GEE resulta da queima de combustíveis, tanto para uso final energético, quanto para autoprodução de energia elétrica. Nesse caso, o combustível predominante utilizado é o gás natural, além de uma parcela menor de diesel, indicando que alternativas para a mitigação de emissões dessas atividades provavelmente dependerão de ações mais eficientes. Paralelamente, o uso da tecnologia de CCUS tem potencial significativo neste setor.

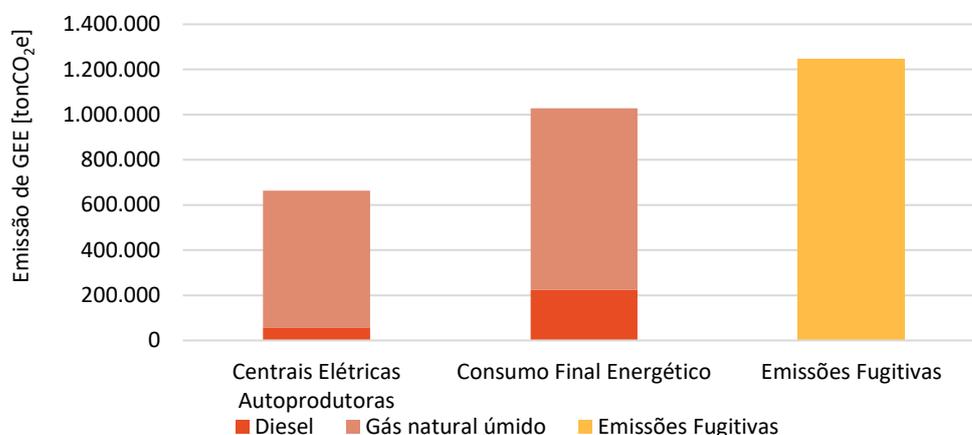


Figura 46. Emissões do subsetor Produção de Combustíveis do ES, em 2020, diferenciadas por atividade geradora e, no caso da queima de combustíveis, por combustível utilizado. Fonte de dados: SEEG (OC, 2021).

4.2.3 Indústria

São contadas como emissões do subsetor Indústria aquelas provenientes da queima de combustíveis fósseis para fins energéticos no âmbito direto de atividades industriais, excluindo-se o uso de combustíveis como agentes redutores nos processos industriais¹⁷.

A Figura 47 apresenta as emissões de GEE relacionadas ao uso de energia no subsetor industrial, incluindo a participação percentual de cada combustível nas emissões desse subsetor. Observa-se que os subsetores que respondem pela maior parte das emissões de GEE relacionadas ao uso de energia são Papel e Celulose (41,9%) e Mineração e Pelotização (32,9%), ambos majoritariamente relacionados à utilização de gás natural. Em seguida aparecem os subsetores de Alimentos e Bebidas (8,4%), Cimento (7,3%) e Ferro Gusa (3,8%). Enquanto os subsetores de Alimentos e Bebidas e Ferro Gusa apresentam utilização majoritária de gás natural, o subsetor de Cimento apresenta utilização majoritária de coque (produto da destilação do carvão mineral). Os demais subsetores industriais correspondem a apenas 5,6% das emissões de GEE relacionadas ao uso de energia no setor industrial, com a utilização de gás natural, GLP, coque, diesel e óleo combustível. Observa-se nos subsetores de menor participação uma maior utilização de diesel e óleo combustível. De fato, nos últimos anos, as emissões por queima de óleo combustível foram consideravelmente menores do que as observadas em 2014 e 2015, indicando uma

¹⁷ No âmbito da metodologia indicada pelo IPCC (2016), o uso de combustíveis como agentes redutores nos processos industriais é computado diretamente como Processos Industriais.

tendência de redução da dependência do Estado do ES em relação ao uso de óleo combustível para geração de energia.

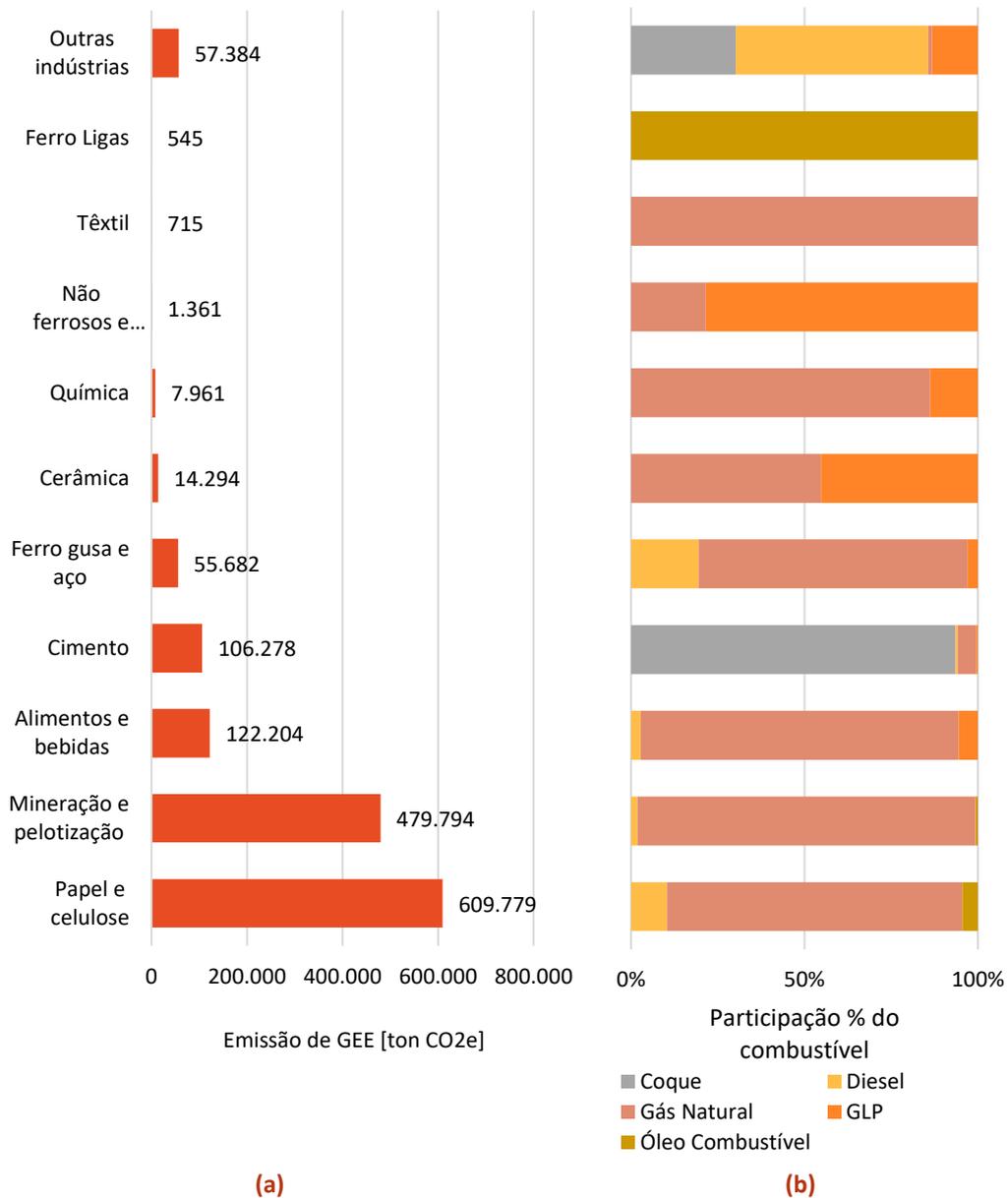


Figura 47. Emissões de GEE relacionadas ao uso de energia no setor Industrial: (a) por subsetor e (b) % participação de cada combustível nas emissões dos subsetores. Fonte de dados: SEEG (OC, 2021).

A Figura 48 apresenta a contribuição dos diferentes combustíveis utilizados para geração de energia no setor industrial. Pode-se observar que 80% das emissões relacionadas à

geração de energia na indústria são relacionadas ao gás natural. Cerca de 12% das emissões estão relacionadas ao uso de coque, diesel e óleo combustível, indicando que pode haver algum benefício na migração de alguns setores para o uso do gás natural como rota de transição para energias mais limpas. Entretanto, é necessário destacar que o impacto desta substituição seria limitado, devido ao percentual já elevado de emprego do gás natural na geração de energia do ES. Em contrapartida, o elevado percentual de utilização de gás natural na geração de energia pode indicar uma rota mais fácil de transição energética para combustíveis mais limpos como o biometano e o hidrogênio, que fazem parte da estratégia energética brasileira no Plano Nacional de Energia 2050, podendo ser utilizada uma parte da infraestrutura já implantada para o gás natural.

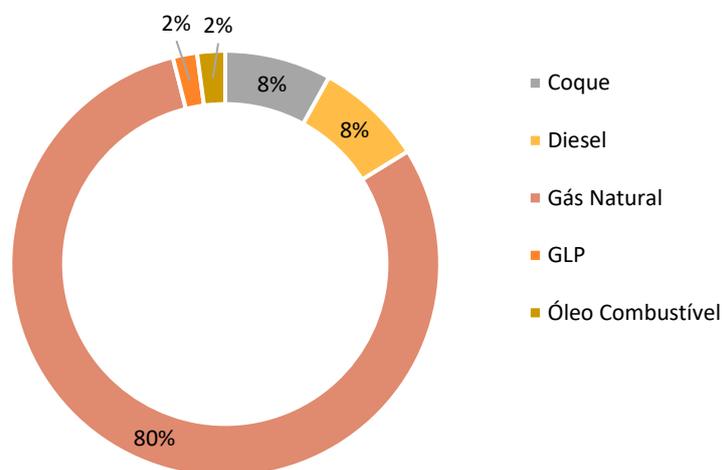


Figura 48. Contribuição % dos diferentes combustíveis utilizados para geração de energia no setor industrial. Fonte de dados: SEEG (OC, 2021).

4.2.4 Eletricidade

A parcela de emissões de GEE relacionadas ao subsetor de Geração de Eletricidade (Serviço Público) no Estado, aquelas originadas na queima de combustíveis fósseis em usinas termelétricas (escopo 1), que abastecem a rede pública de eletricidade, e as emissões associadas à Importação de Eletricidade (escopo 2). Em 2020, as emissões do subsetor de Geração de Eletricidade (Serviço Público) foram de 1,01 Mton CO₂e, enquanto as emissões associadas à Importação de Eletricidade (escopo 2) representaram 0,38 Mton CO₂e.

A Figura 49 apresenta as emissões do subsetor de Geração de Eletricidade (Serviço Público), na qual é possível observar que, até 2012, as emissões deste subsetor são relativamente baixas no ES. A partir dessa data, entram em operação usinas termoelétricas no ES movidas a gás natural e óleo combustível. A intensidade de emissão destas usinas varia conforme a

necessidade de despacho do Operador Nacional do Sistema (ONS) de energia elétrica. Duas das termelétricas do Estado (UTE Viana e UTE LORM) estão em obras de expansão com inclusão de outros grupos geradores a gás natural, além da construção de uma outra (UTE Povoação), também a gás natural. Futuramente, serão 148,5 MW instalado, ampliando o potencial de geração do ES, mas que terão como consequência um maior potencial de emissões de GEE.

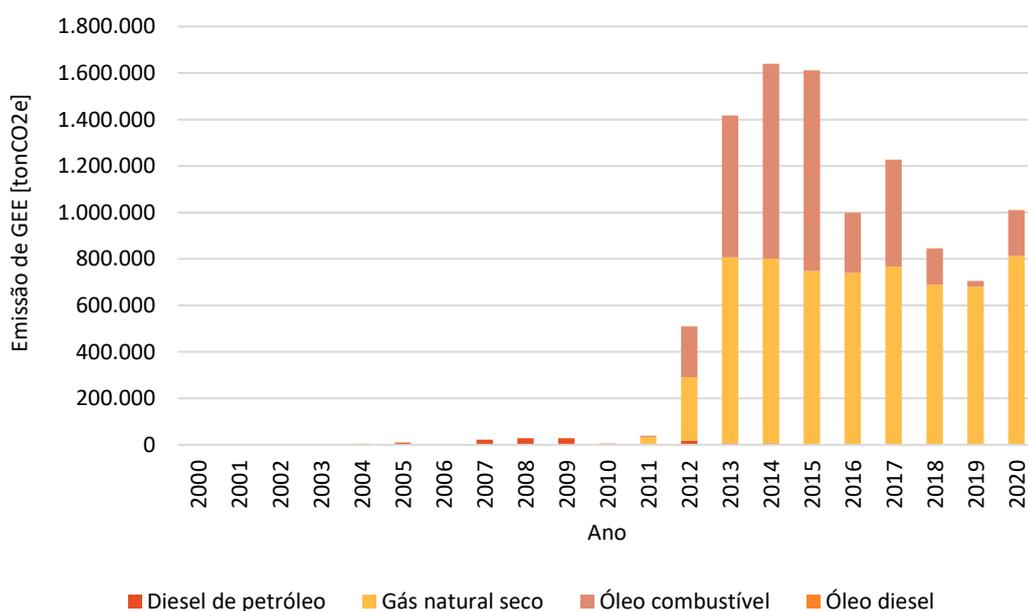


Figura 49. Evolução temporal da emissão de GEE no ES relacionada à Geração de Eletricidade (Serviço Público), 2000 – 2020. Fonte de dados SEEG (OC, 2021).

As emissões de GEE relacionadas à Importação de Eletricidade (escopo 2) dependem da composição da matriz de geração nacional, variando conforme a necessidade de despacho das termelétricas para suprir a demanda no país. A Figura 50 apresenta a evolução temporal do fator de Emissão de CO₂ correspondente à geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil. Esse fator de emissão é calculado com base na média das emissões da geração, levando em consideração as usinas que estão gerando energia. É possível observar que, nos anos em que é necessário o despacho de várias usinas termelétricas para suprir as necessidades de energia do sistema, existe um aumento significativo das emissões de CO₂e por MWh gerado, como ocorrido em 2015 e 2021, por exemplo. É importante ressaltar que, mesmo nos anos de maior pico do fator de emissão, a energia elétrica brasileira ainda foi consideravelmente “mais limpa” que a energia de diversos países, como os registrados pela Comunidade Europeia, de 0,3 ton CO₂e/MWh (Ajanovic e Haas, 2019) e pelos EUA, de 0,386 ton CO₂e/MWh (US-EIA, 2022). Valores

consideravelmente maiores do que os observados em 2020 (0,062 ton CO₂e/MWh) e 2021 (0,126 ton CO₂e/MWh) no Brasil.

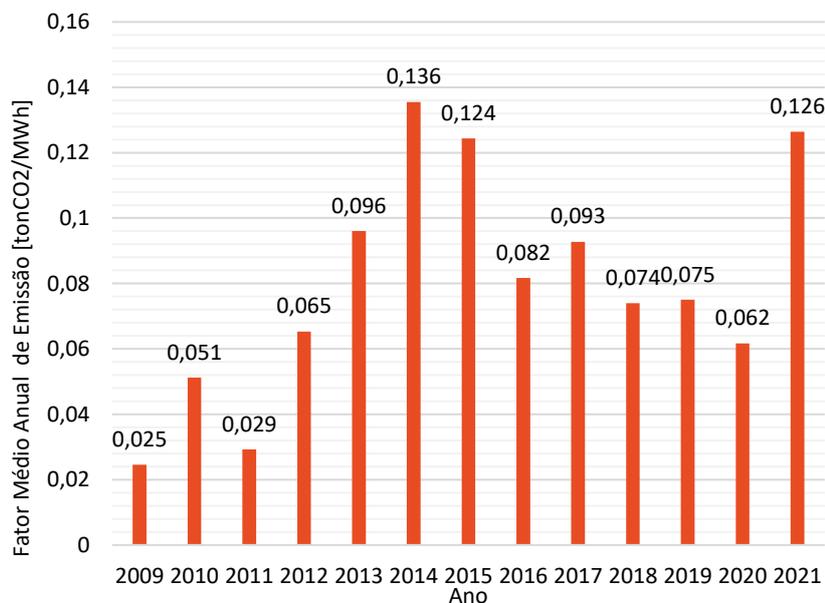


Figura 50. Evolução temporal do fator de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil, em tCO₂e/MWh. Fonte de dados: MCTI (2021b)

É importante destacar que a taxa de emissão referente a importação de energia é uma estimativa inicial, visto que grandes consumidores operam no mercado livre de energia e selecionam fontes compatíveis com suas políticas ambientais de redução de emissão. Por exemplo, algumas empresas do ES se comprometem, em suas políticas ambientais, em atingir 100% do consumo de eletricidade renovável, até 2025. Outras empresas do Estado podem ter adotado políticas semelhantes, mas os inventários empregados até o estágio da execução do trabalho não são capazes de identificar tal comportamento. Com a execução do inventário de emissão local, características específicas deverão ser melhor identificadas.

É possível identificar três fatores relevantes para a geração de energia elétrica do Estado:

1. O uso de óleo combustível na geração de energia elétrica no ES indica que pode haver benefício da migração de usinas geradoras para gás natural como rota de transição para energias menos emissoras de GEE.
2. Analogamente ao observado para a geração de energia no setor industrial, a relevância do gás natural na geração de eletricidade no ES e a existência de infraestrutura indicam o potencial de futura transição de gás natural para combustíveis mais limpos como biometano e hidrogênio, que fazem parte da estratégia energética brasileira no Plano Nacional de Energia 2050.

3. A eletrificação de setores da economia como medida mitigadora da emissão de GEE pode aumentar o consumo de eletricidade do ES, tornando-o mais dependente da matriz nacional.
4. A geração de energia elétrica com base em fontes renováveis no ES, como eólica e solar, tem o potencial de aumentar de maneira significativa nos próximos anos, conforme descrito na Seção 3.4 Potencial de geração de energia a partir de fontes renováveis). Desta forma, a geração de energia com carbono zero no ES pode diminuir a parcela de emissão referente à importação de energia. De fato, o ES tem potencial de produzir energia limpa suficiente para exportar e compensar as emissões de outros setores.

4.2.5 Residencial

As emissões de GEE atribuídas ao subsetor Residencial dizem respeito à queima de combustíveis (no caso, gás natural e gás liquefeito de petróleo – GLP) nas residências do ES. A Figura 51 apresenta as emissões desse subsetor ao longo do período de 1990 a 2020, discriminadas por tipo de combustível utilizado. A partir do ano de 2003, pode-se notar uma tendência geral de crescimento das emissões. A grande maioria das emissões do subsetor Residencial está associada à utilização de GLP, embora a participação de gás natural seco vem aumentando consistentemente desde 2010.

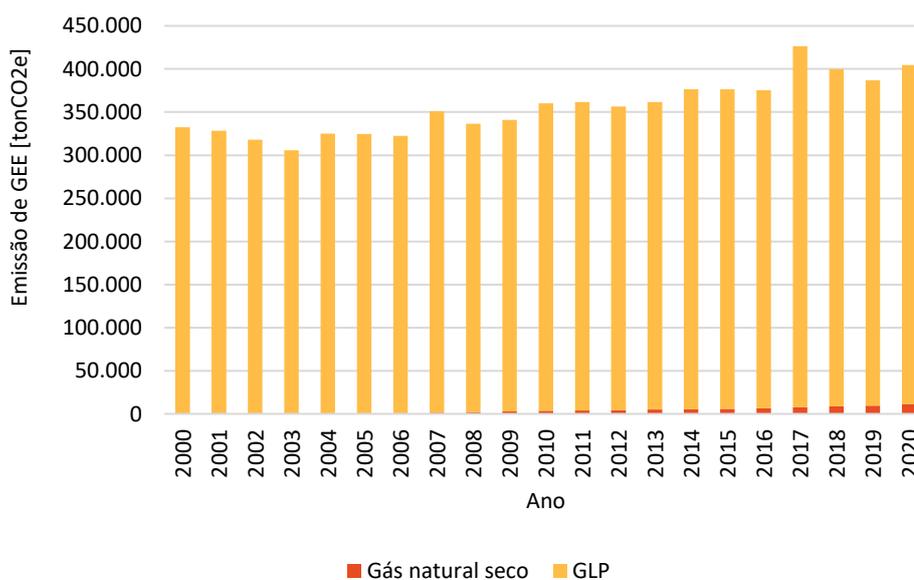


Figura 51. Emissões de GEE do subsetor Residencial no Espírito Santo, de 1990 a 2020, discriminadas por combustível utilizado. Fonte: SEEG (OC, 2021).

4.3 Processos Industriais

É importante destacar que a metodologia do IPCC (IPCC, 2006) inclui como emissões do setor Processos Industriais somente a parcela de emissões diretamente ligada aos processos de fabricação. Não são consideradas neste grupo as emissões industriais ligadas às emissões a partir de produção de energia utilizada nos processos industriais. Essa parcela de emissões é computada como a contribuição industrial para as emissões do setor de energia. Portanto, tanto o inventário SEEG quanto o inventário SIRENE, que são baseados metodologia do IPCC (IPCC, 2006), consideram as emissões industriais apenas das fontes, conforme representação esquemática da Figura 52.

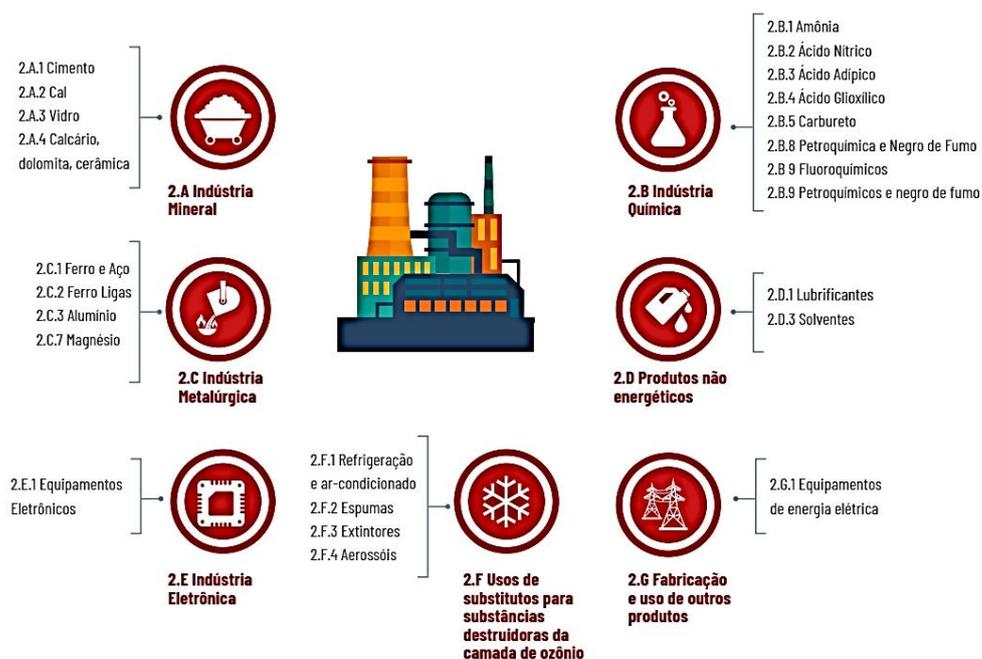


Figura 52. Representação esquemática dos processos industriais incluídos nas estimativas de segundo as metodologias empregadas pelo SEEG e SIRENE. Fonte: MCTI (2022).

A Figura 53 apresenta a emissão do setor de Processos Industriais no ES. A metodologia empregada contempla as emissões de dois processos industriais, produção de aço e produção de cimento. Em 2020, as emissões dos processos industriais totalizaram 9,29 Mton CO₂e, que correspondem a 32% do total de emissões líquidas do ES. A maioria das emissões (97%) estão relacionadas à produção de aço, que é fortemente baseada no uso de carvão mineral.

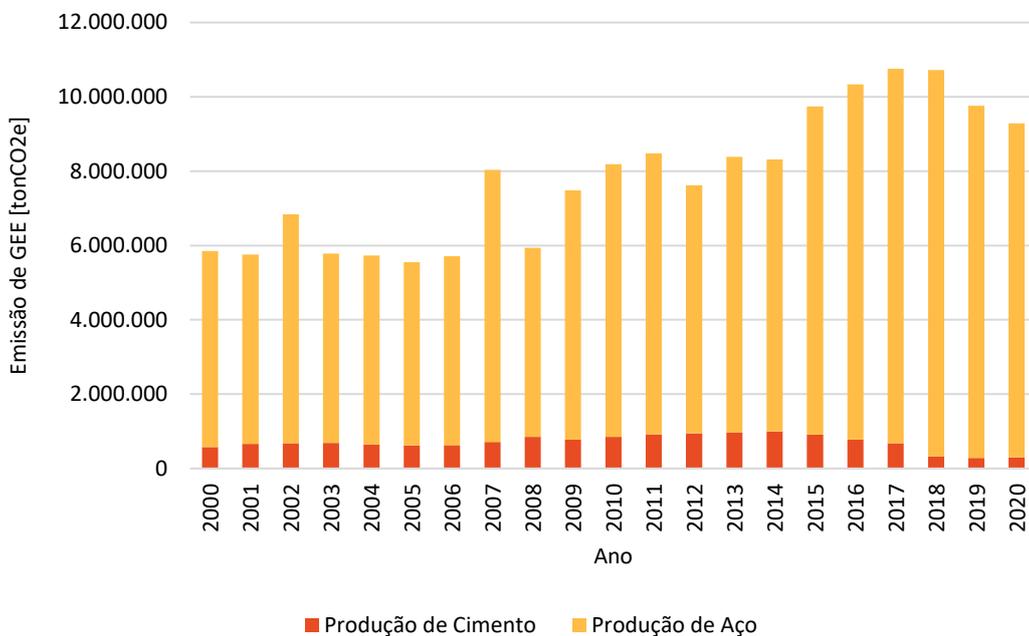


Figura 53. Emissões de GEE de processos industriais no ES, de 2000 a 2020. Fonte de dados: SEEG (OC, 2021).

É importante notar que essas emissões têm significativo potencial de mitigação, com gradual transição para energias mais limpas. Em primeira instância, a gradual substituição do carvão para o gás natural e posteriormente a utilização de Hidrogênio Verde na produção de aço. Adicionalmente, é necessário informar que a empresa principal responsável pela produção de ferro-gusa e aço no ES, já indicou estudos visando avaliar a viabilidade técnica e econômica de utilização do hidrogênio verde em seus processos como forma de reduzir emissões após 2030. A empresa também assumiu compromisso ambiental de neutralizar suas emissões de GEE até 2050. Estes compromissos podem ter um impacto significativo sobre o perfil de emissões da matriz energética do ES.

É importante ressaltar que tanto SIRENE quanto SEEG reportam explicitamente que as metodologias empregadas para incluir as emissões de processos industriais e energia são alocadas em dois setores distintos, de forma mutuamente excludente, ou seja, sem sobreposição ou dupla contagem. Ambos os inventários indicam que os cálculos de emissão relativos ao consumo de combustíveis reductores seguem o mesmo procedimento do relatório “Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais – Relatório de Referência” (publicado em 2014 pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI), publicado em colaboração com entidades industriais, tais como Instituto Aço Brasil, Associação Brasileira de Alumínio e outros. Segundo o documento são contabilizadas as emissões da indústria, dentro do setor de Energia, que estão ligadas diretamente a consumo de combustíveis com finalidade energética, sendo excluído o consumo de combustíveis em processo termorreductor (as quais já são incluídas no setor de Processos Industriais). Em termos de metodologia, o princípio adotado nos dois inventários é o mesmo, utilizando-se fatores de emissão e balanço de carbono, com a diferença que o SIRENE se propõe a considerar um balanço de massa de carbono mais detalhado das entradas e saídas de cada processo. Por exemplo, quando disponíveis, utilizam-se os valores produzidos de gás de aciaria (quando não disponíveis, fatores de alocação são assumidos), e as emissões pela queima desse gás são calculadas individualmente. No entanto, o carbono contido no gás de aciaria é descontado no cálculo das emissões calculadas para o alto forno, para evitar dupla contagem.

4.4 Resíduos

Em 2020, as emissões brutas do setor Resíduos foram de 2,05 Mton CO₂e, que equivalem a 7% das emissões totais de GEE no Estado. A Figura 54 apresenta os dados de emissão bruta para o setor Resíduos. O inventário considera o período de 1990 até 2020 e indica que o setor de resíduos sólidos e efluentes apresentou uma geração crescente das emissões de GEE, impulsionada pelo crescimento populacional, que consequentemente elevou a demanda de tratamento de efluentes domésticos, bem como impulsionou a geração de resíduos sólidos urbanos.

Pode-se observar na Figura 54 que as principais emissões estão relacionadas aos subsetores de Disposição Final de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos Domésticos, responsáveis por 71% e 21% das emissões do setor, respectivamente. Dessa forma, ainda que todas as emissões mereçam ações mitigadoras, o foco do setor de resíduos visando à neutralização de GEE deve mirar o tratamento de efluentes e destinação de resíduos sólidos.

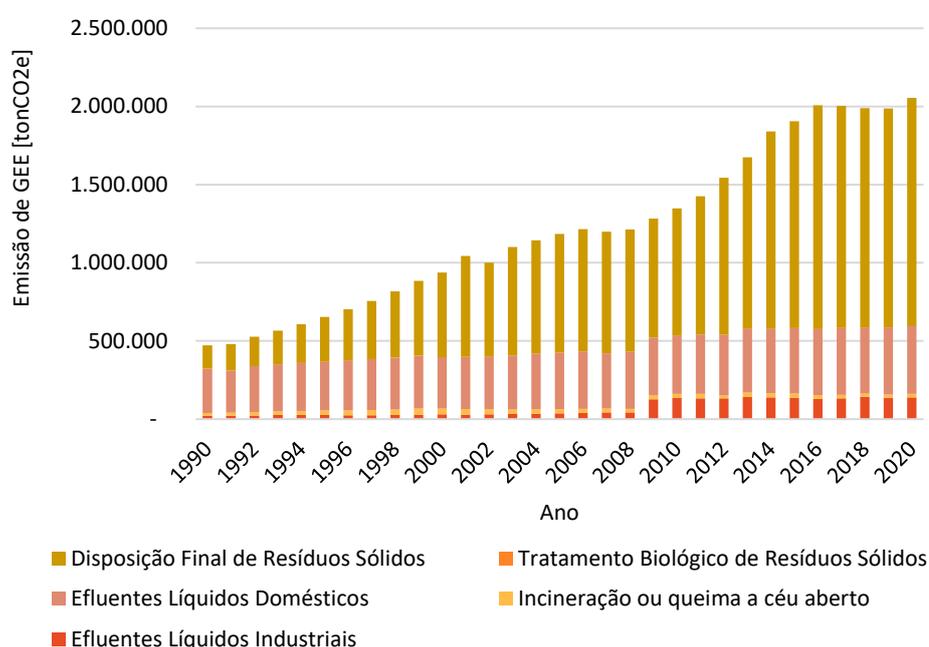


Figura 54. Evolução temporal da emissão de GEE do setor de resíduos no ES, 1990 -2020. Fonte de dados: SEEG (OC, 2021).

A Figura 55 apresenta a emissão de GEE na disposição final de resíduos sólidos por tipo de resíduo no ES, de 1990 a 2020. Pode-se observar que as maiores parcelas das emissões são

referentes à Disposição de RSU em Aterro Sanitário (90,6% em 2020) e à Disposição de RSU em Aterro Controlado ou Lixão (9,0%).

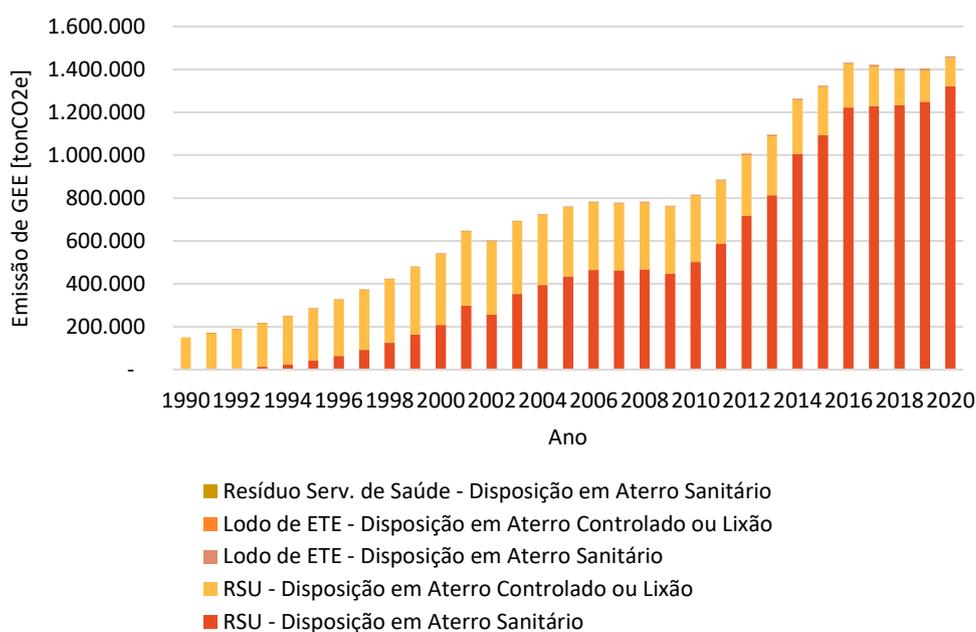


Figura 55. Evolução temporal da emissão de GEE na disposição final de resíduos sólidos por tipo de resíduo no ES, 1990 -2020. Fonte de dados: SEEG (OC, 2021).

Dados do SEEG apontam que, apesar do aumento da demanda no tratamento de efluentes líquidos, a destinação de resíduos em aterros sanitários, aterros controlados e lixões são os maiores responsáveis pela emissão crescente de metano, sendo responsáveis por 64,3% das emissões em território nacional. Cabe ressaltar que, os resíduos de atividades agropecuárias, como a disposição de dejetos animais e a incineração de restos de culturas agrícolas não estão inclusos no setor de Resíduos, sendo contabilizados nas estimativas de emissões do setor Agropecuário.

De acordo com o caderno metodológico do SEEG, também se considerou a variável referente à recuperação de metano, por meio da queima ou aproveitamento energético. O Espírito Santo possui cinco aterros sanitários, sendo que apenas dois realizam queima ou aproveitamento energético. Dessa forma, a principal medida de mitigação envolve o controle de perdas de biogás e a produção de energia em aterros sanitários.

Há ainda a interface do setor de resíduos com outros setores em relação ao impacto nas emissões, como a recuperação energética a partir da queima de rejeitos de RSU e a comercialização de Combustível Derivado de Resíduo (CDR), que reduzem consequentemente a emissão de GEE na produção de energia a partir de combustíveis

fósseis. Ainda em relação ao setor de Energia, a produção de biogás em biodigestores via metanização ou processos para conversão de matéria orgânica em biogás, permite reduzir custos de produção e geração de energia elétrica ou térmica, ou mesmo a comercialização de biogás. Da mesma forma, a produção de fertilizante biológico, além de valorizar os resíduos orgânicos, indiretamente, também reduz as emissões da produção e utilização de fertilizantes químicos. Além disso, a reciclagem dos resíduos secos minimiza as emissões do setor industrial com o fornecimento de matéria prima secundária.

Em relação aos efluentes domésticos, os dados disponíveis atualmente mostram que 57% da população do ES é atendida pelo serviço de esgotamento sanitário. Entretanto, a tendência é de aumento da cobertura da população atendida, visto que vários municípios apresentaram recentemente seus respectivos Planos Municipais de Saneamento Básico, ou estão em fase de elaboração. Em relação aos efluentes líquido, as rotas de mitigação englobam o aproveitamento energético do biogás gerado nos tratamentos anaeróbios e o aumento da eficiência energética dos tratamentos aeróbios.

Em relação aos efluentes industriais, o SEEG considera na métrica de emissão o tipo de tratamento e os dados de produção industrial das seguintes atividades: produção de carne avícola, bovina e suína; produção de celulose; produção de cerveja; e produção de leite cru e leite pasteurizado. Apesar de não existirem dados disponíveis para a projeção da emissão referente aos efluentes industriais no Estado, vale ressaltar que, dentre as atividades consideradas pelo SEEG, o ES possui empreendimentos agroindustrial e agroindustriais situados em sua maioria na região norte do Estado.

Não obstante, o potencial de geração de biogás pelo setor é significativo. A produção de biogás pelo setor Resíduos, somada à produção do setor de Agropecuária, tem o potencial de gerar uma parcela significativa da energia consumida no ES, de forma sustentável e com neutralidade de carbono, conforme discutido na Seção 2.2.4.4.

Dessa forma, a tendência a médio e longo prazo é uma redução das emissões de GEE relativas ao setor de resíduos sólidos e efluentes, visto que o Governo do Estado, em seu Plano Estadual de Resíduos Sólidos (ESPÍRITO SANTO, 2019), descreveu diversas diretrizes, projetos e ações para instituir um novo modelo de gestão com incentivos, desde elementos econômicos, regulatórios, de fiscalização e controle social, de regulação, de capacitação e conscientização, que permitem desonerar a cadeia de coleta e transporte de resíduos, assim como, viabilizar empreendimentos de destinação de resíduos sólidos (reutilização, reciclagem, compostagem, e aproveitamento energético) e tratamento de efluente sanitário ou industrial, tornando possível a minimização de emissões de GEE e/ou aumento da eficiência dos processos atuais.

Junto com essas ações, também foram previstas a implementação de programas de capacitação e educação socioambiental com foco na segregação na fonte, reutilização e reciclagem de efluentes sanitários e industriais o que favoreceria a economicidade espacial de processos mais eficientes na geração de GEE. A fim de favorecer esses direcionamentos, o Governo fomentou a participação de organismos de gestão (SEAMA, IEMA e secretarias municipais), da sociedade civil (universidades e COGERES) e desenvolveu parcerias com organismos de controle (Ministério Público Estadual, ARSP e Tribunal de Contas do ES) na discussão de elementos de gestão de resíduos no território capixaba, favorecendo soluções eficientes em termos de geração de GEE que requeiram fiscalização e controle pelo Estado. Para facilitar o controle e fiscalização e o estabelecimento de um Inventário Estadual para Emissões de GEE, o governo vem estudando a implementação de um Sistema Estadual Digital de Informação sobre os Sistemas de Tratamento de Efluentes Sanitários e Industriais, e sobre o Gerenciamento de Resíduos e Manifesto de Transporte de Resíduos.

Finalmente, percebe-se uma ampla discussão no Congresso Nacional sobre o estabelecimento de um marco normativo para o aproveitamento energético de rejeitos provenientes do manejo de RSU, o que amplia a segurança jurídica para a instalação de processos mais eficientes em emissões de GEE. A queima de resíduos ou aproveitamento energético do biogás é uma tendência internacional com forte impacto na redução das emissões relativas à disposição de resíduos em aterros sanitários, aterros controlados e lixões.

4.5 Sumário das Emissões por Atividade Econômica

A Figura 56 mostra as emissões de GEE do Estado por setor, subsetor e atividade econômica. É possível observar a relação entre as atividades econômicas e os setores geradores de emissões, agrupando as emissões do ES em 5 grandes grupos de atividades econômicas: (i) Produção de Combustíveis e Geração de Energia, (ii) Transporte, (iii) Comercial, Residencial e Setor público, (iv) Indústria e (v) Agropecuária.

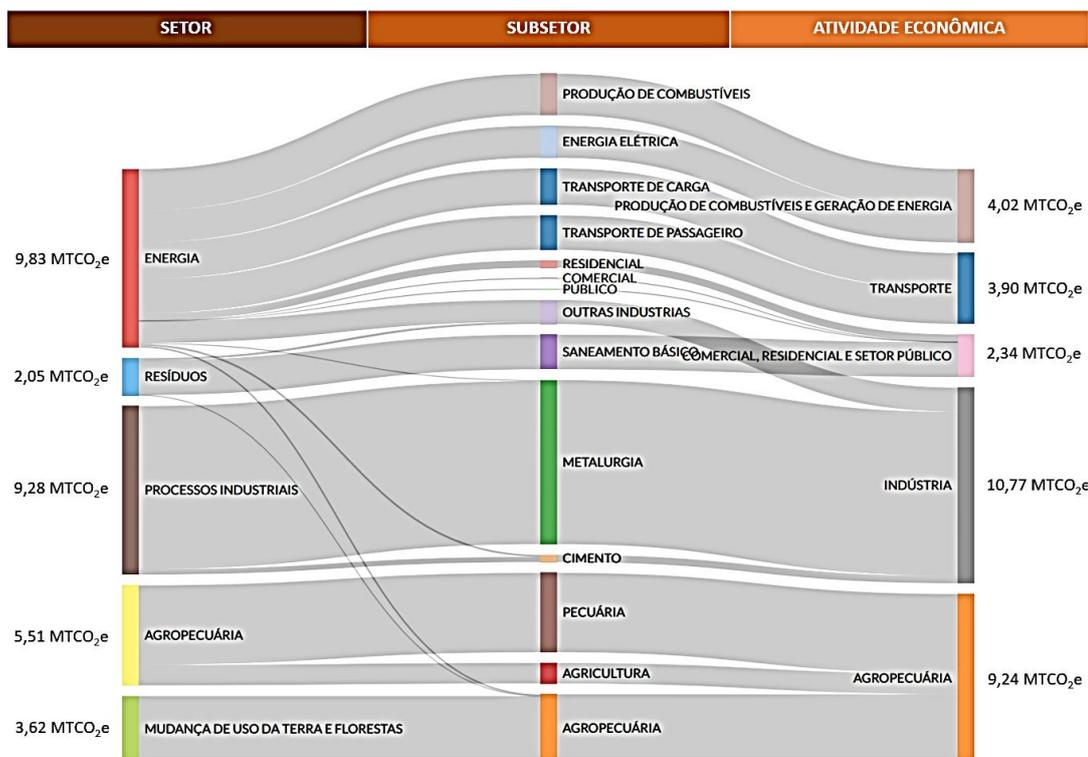


Figura 56. Emissões de GEE do Estado por setor, subsetor e atividade econômica. Fonte SEEG (OC, 2021).

As emissões de Produção de Combustíveis e Geração de Energia correspondem a uma parcela significativa das emissões do setor energia e estão ligadas, principalmente, à exploração de óleo e gás e geração de energia em termelétricas no ES. Este grupo de atividades econômicas corresponde a 13,3% das emissões brutas de GEE no ES (4,02 Mton CO₂e).

As emissões de Transporte estão ligadas ao Transporte de Cargas, setor responsável pela emissão de 2,01 Mton CO₂e, e ao Transporte de Passageiros no ES, responsável pela emissão de 1,89 Mton CO₂e. Essas atividades econômicas correspondem a 12,9% das emissões brutas de GEE no ES (3,90 Mton CO₂e).

As emissões das atividades Comerciais, Residenciais e Setor Público correspondem às parcelas das emissões do setor de energia relacionadas à queima de GLP e à produção de energia elétrica utilizadas nestas atividades. Além da energia, esse grupo de atividades responde pela quase totalidade das emissões do setor de resíduos (93%), correspondendo a 7,7% das emissões brutas de GEE no ES (2,34 Mton CO₂e).

As emissões das atividades industriais são constituídas por três parcelas: emissões do setor energia, emissões de processos industriais e, em menor escala, emissões do setor de resíduos. A parcela das emissões do setor energia corresponde a energia consumida pela atividade industrial (1,20 Mton CO₂e). A parcela de emissões de processos industriais corresponde às emissões diretas dos processos de fabricação das indústrias (9,29 Mton CO₂e). A parcela de emissões do setor de resíduos corresponde às emissões ligadas ao tratamento de efluentes relacionados às indústrias (0,02 Mton CO₂e). As emissões das atividades industriais correspondem a 35,6% das emissões brutas de GEE no ES (10,77 MtonCO₂e).

As emissões das atividades agropecuárias são constituídas por cinco parcelas: agricultura, pecuária, mudanças de uso do solo e floresta, e em menor escala, energia e resíduos. As parcelas das emissões da pecuária e agricultura correspondem a 4,38 Mton CO₂e e 1,14 Mton CO₂e, respectivamente. As mudanças de uso do solo e floresta representam 3,62 Mton CO₂e. A parcela das emissões do setor energia corresponde a energia consumida pela atividade agropecuária (0,09 Mton CO₂e). A parcela de emissões do setor de resíduos corresponde às emissões ligadas ao tratamento de efluentes da atividade agropecuária (0,02 Mton CO₂e). As emissões das atividades agropecuária correspondem a 30,5% das emissões brutas de GEE no ES (9,24 Mton CO₂e).

A Figura 57 mostra a contribuição de cada atividade econômica para o total das emissões de GEE do ES, sendo que a Figura 57a apresenta as contribuições brutas e a Figura 57b apresenta as contribuições líquidas, descontando as remoções efetuadas pelos setores ligados à atividade econômica. Visto que as remoções contabilizadas no ES estão ligadas ao sequestro de carbono pelo setor de mudanças de uso do solo e floresta (1,71 Mton CO₂e) e remoções ligadas à fixação de carbono¹⁸ no solo nas atividades de pecuária, florestas plantadas e sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta (1,29 Mton CO₂e), tais remoções são somente relacionadas às atividades agropecuárias, reduzindo a participação desta atividade de 30,5% para 22,9% das emissões totais do ES, ou seja, uma redução de 3,00 Mton CO₂e.

¹⁸ Remoções NCI (Não Contabilizadas no Inventário Nacional)

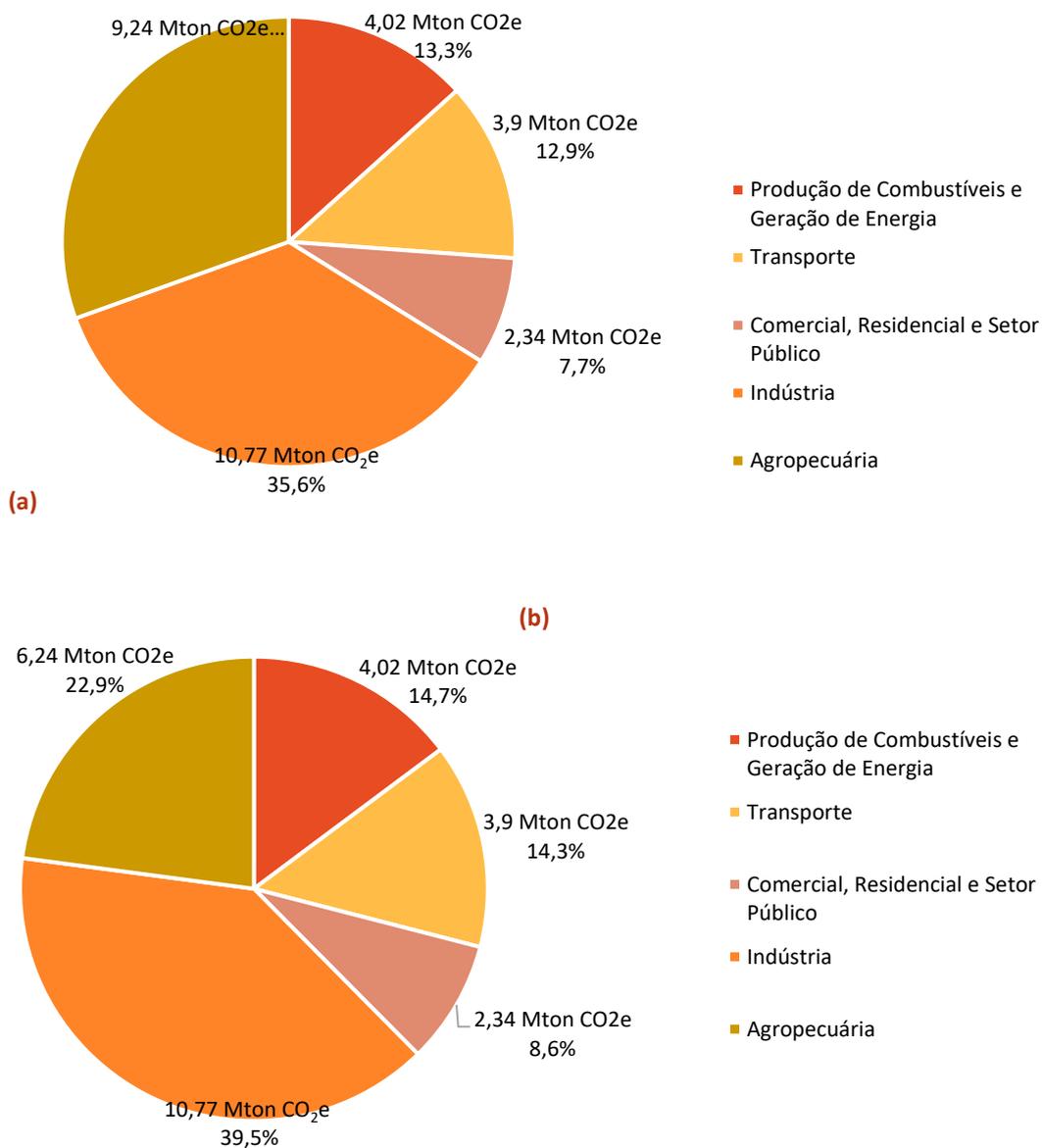


Figura 57. Contribuição % de cada atividade econômica para o total das emissões de GEE do ES, em 2020: (a) contribuições brutas e (b) contribuições líquidas para as emissões do ES. Fonte de dados SEEG (OC, 2021).

Com base na análise do Sumário das Emissões por Atividade Econômica, é possível identificar quatro áreas temáticas para a implementação de ações que levem a descarbonização da economia do ES: (i) Energia & Indústria; (ii) Transportes; (iii) Resíduos; e (iv) AFOLU. A organização em áreas temáticas visa facilitar as análises e discussões por setor, sistematizando a análise de resultados e a proposições de políticas e estratégias para

atingir os objetivos pretendidos dentro de cada atividade econômica. A Figura 58 apresenta os setores que compõem as áreas temáticas selecionadas para o agrupamento de estratégias.

	 Energia & Indústria	 Transportes	 AFOLU	 Resíduos
Setores	Indústria Produção de Combustíveis e Geração de Energia	Transporte de Carga Transporte de passageiros	Agropecuária Mudança de Uso do Solo e Florestas	Resíduos

Figura 58. Setores que compõem as áreas temáticas selecionadas para o agrupamento de estratégias.



5

ANÁLISE SWOT

PONTOS FORTES/FRACOS E FATORES
ESTRATÉGICOS EXTERNOS

Uma análise SWOT é uma avaliação dos ambientes internos e externos de uma organização. As análises SWOT são frequentemente usadas para criar planos estratégicos de organizações. A estrutura de análise SWOT permite a identificação de fatores estratégicos internos, como pontos fortes e fracos, e fatores estratégicos externos, como oportunidades e ameaças. O objetivo principal da matriz SWOT é ajudar a identificar as estratégias para explorar suas potencialidades e vocações (pontos fortes) e superar suas limitações internas (pontos fracos), assim como explorar oportunidades externas, combater e evitar ameaças do ambiente externo que podem atrapalhar ou ser um obstáculo para o cumprimento dos objetivos estratégicos da organização.

No contexto do Plano de Neutralização das Emissões de GEE do ES, a análise SWOT representa um sumário dos fatores e características identificados nas seções anteriores deste capítulo, envolvendo as vocações, potencialidades e desafios de cada setor para atingir a meta de descarbonização da economia do ES até 2050. A Tabela 13 apresenta uma visão geral da análise SWOT aplicada ao Plano de Neutralização das Emissões de GEE.

Com base no conceito de áreas temáticas estabelecido na seção anterior, a análise SWOT foi desenvolvida para cada área com base no diagnóstico apresentado ao longo deste capítulo. Os Pontos Fortes, Pontos Fracos, Oportunidades e Ameaças indicados aqui serão empregados para identificar as diretrizes e estratégias descritas no próximo capítulo. As Tabelas 14, 15, 16 e 17 apresentam a análise SWOT para as áreas temáticas de Energia & Indústria, Transportes, AFOLU e Resíduos, respectivamente.

Tabela 13. Visão conceitual da análise SWOT aplicada ao Plano de Neutralização das Emissões de GEE.

Fatores Internos (Características ou atributos do Estado)	Pontos Fortes:	<ul style="list-style-type: none"> Fatores internos que podem favorecer ou influenciar positivamente a implantação de tecnologias ou estratégias para a minimização das emissões de GEE ou a captura/compensação de emissões. <ul style="list-style-type: none"> Exemplo: disponibilidade de recursos naturais favoráveis à implantação da tecnologia/estratégia, empresas com potencial de fornecer serviços relacionados à tecnologia/estratégia, infraestrutura instalada, vocação na área.
	Pontos Fracos:	<ul style="list-style-type: none"> Fatores internos que podem atrapalhar ou influenciar negativamente a implantação de tecnologias ou estratégias para a minimização das emissões de GEE ou a captura/compensação de emissões. <ul style="list-style-type: none"> Exemplo: indisponibilidade de recursos naturais favoráveis à implantação da tecnologia/estratégia, falta de empresas ou mão-de-obra especializada com potencial de fornecer serviços relacionados à tecnologia/estratégia, necessidade de importação de insumos, vulnerabilidade logística, falta de conhecimento local, falta de regulamentação local ou regulamentação local inadequada, gargalos de infraestrutura.
Fatores Externos (Características ou atributos do ambiente externo)	Oportunidades:	<ul style="list-style-type: none"> Fatores externos que podem favorecer ou influenciar positivamente a implantação de tecnologias ou estratégias para a minimização das emissões de GEE ou a captura/compensação de emissões. <ul style="list-style-type: none"> Exemplo: mudanças político-econômicas, políticas externas ou nacionais, oportunidades de financiamento nacional ou internacional.
	Ameaças:	<ul style="list-style-type: none"> Fatores externos que podem atrapalhar ou influenciar negativamente a implantação de tecnologias ou estratégias para a minimização das emissões de GEE ou a captura/compensação de emissões. <ul style="list-style-type: none"> Exemplo: escassez do recurso, tecnologia ainda não plenamente desenvolvida, viabilidade econômica, falta de regulamentação ou regulamentação inadequada, alto custo da tecnologia.

Tabela 14. Análise SWOT para área temática de Energia & Indústria.

<p>Fatores Internos (Características ou atributos do Estado)</p>	<p>Pontos Fortes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • As maiores empresas do Estado, que são responsáveis por uma parcela bastante significativa das emissões de GEE, já possuem planos para mitigação das emissões, tais como Vale, ArcelorMittal e Suzano, que têm planos de neutralização de emissões até 2050. • Planos de neutralização das grandes empresas já divulgados, apresentando oportunidades econômicas de médio e longo prazo para o desenvolvimento de alguns setores baseados em energias limpas no Estado, inclusive com a identificação de demanda futura de segmentos específicos como hidrogênio e geração de eletricidade por energias renováveis. • O Estado tem potencial significativo para geração de energia elétrica de origem solar, hídrica, eólica e de bioenergia. • Potencial significativo de energia eólica offshore, com diversos empreendimentos manifestando interesse na instalação no Estado. • Potencial de uso de gás natural no processo de transição energética, por existir reservas, infraestrutura de distribuição e uso significativo no ES. • O ES faz parte do Sistema Interligado Nacional (SIN) de eletricidade. • Infraestrutura de portos e prestação de serviços offshore, que pode ser benéfica para aproveitamento eólico offshore e a produção de Hidrogênio Verde. • Existência de empresas de pequeno, médio e grande porte, além de setores da administração pública, comprometidos com a geração distribuída renovável. • Uma das principais atividades industriais do Estado é a produção do aço, para a qual uma das principais vias de neutralização das emissões de GEE é a utilização de processos de redução direta baseados em hidrogênio, indicando demanda futura. • Diversos empreendimentos relacionados a energias renováveis divulgados por empresas do setor. • Existência de financiamento para projetos de geração de energia renovável e eficiência energética. • Parte do Estado pertence à SUDENE, propiciando subsídios para geração por fonte renovável.
---	--

Fatores Internos (Características ou atributos do Estado)	Pontos Fracos:	<ul style="list-style-type: none"> • Incerteza no mercado e dificuldade para garantir a segurança do suprimento por períodos de longo prazo. • Limitação da rede de transporte e distribuição de gás natural para aproveitamento do potencial de geração de biogás/biometano” • Limitações da rede de transmissão de energia elétrica, principalmente ao se considerar a possibilidade de ampliação da eletrificação de vários setores da economia, como transportes por exemplo. • Menor competitividade energética do potencial solar e eólico onshore local em relação a outros estados (kWh/dia). • Empreendedores reportam limitações significativas no processo de licenciamento ambiental.
Fatores Externos (Características ou atributos do ambiente externo)	Oportunidades:	<ul style="list-style-type: none"> • Plano Nacional de Energia (PNE 2050) indica as rotas nacionais para a transição energética, permitindo que o Estado efetue seu planejamento com base nas premissas nacionais de longo prazo. • Disponibilidade de diversos estudos nacionais para identificação do potencial de utilização de energias limpas nos diversos setores. • Maturação da tecnologia e redução de custos dos equipamentos de geração a partir de energias com fontes limpas, principalmente solar, eólica e biogás. • Maturação da tecnologia e redução de custos dos equipamentos e instalações para melhoria de eficiência em edificações e processos. • Oportunidade de captação de recursos nacionais e internacionais para projetos relacionados a descarbonização da economia. • Mercado brasileiro e internacional para a compra de hidrogênio. • Condições geopolíticas internacionais têm causado elevação dos preços de petróleo e derivados, aumentando a atratividade de fontes renováveis.
	Ameaças:	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de marco regulatório nacional para aproveitamento energético de resíduos e biogás. • Ausência de marco regulatório nacional eólico offshore. • Grande dependência tecnológica do Brasil das rotas desenvolvidas em outros países, por haver baixo desenvolvimento de tecnologia no país (P&D). • Mudanças de diretrizes no planejamento energético nacional • Ausência de marco regulatório para o mercado de carbono nacional • Uma eventual melhoria nas condições geopolíticas internacionais pode resultar em redução dos preços do petróleo e derivados, diminuindo a atratividade de fontes renováveis.

Tabela 15. Análise SWOT para área temática de Transportes.

Fatores Internos (Características ou atributos do Estado)	Pontos Fortes: <ul style="list-style-type: none"> • Conscientização política dos setores públicos e privados da necessidade de políticas públicas para reduzir as emissões do setor. • Sistema TRANSCOL já iniciou estudos para eletrificação da frota. • Indústria local tem protótipos de ônibus elétricos. • Sistema TRANSCOL já iniciou testes de conversão de veículos ciclo diesel para utilização associada de Diesel e GNV na frota. • Implantação do Sistema Aquaviário
	Pontos Fracos: <ul style="list-style-type: none"> • Setor muito pulverizado, com muitos atores (proprietários autônomos de caminhões, empresas de transporte, fabricantes de caminhões, fabricantes de combustíveis, fabricantes de lubrificantes, postos de combustíveis, dentre outros), dificultando políticas gerais que atendam e/ou agradem a todos esses atores. • Atualmente, a maior parte do setor está com baixa capacidade de investimento, o que dificulta o acesso a novas tecnologias de motores e/ou de combustíveis, evidenciada pela crescente idade média da frota. • Apesar dos esforços governamentais, algumas linhas do transporte coletivo ainda sofrem com ônibus superlotados, insegurança, frequência não adequada, o que leva os passageiros que têm condição financeira a trocar o transporte coletivo pelo transporte particular.
Fatores Externos (Características ou atributos do ambiente externo)	Oportunidades: <ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia de motores de veículos pesados utilizando biocombustíveis bastante avançada (biodiesel). • Tecnologia de motores de veículos pesados utilizando GNV bem consolidada na Europa e pode ser trazida para o Brasil. • Para veículos leves, o Brasil tem bem desenvolvida a tecnologia de motores flex (bi e tri combustíveis), o que permite uma migração para o etanol muito rápida. • Para veículos leves, já existe comercialmente muitas ofertas de tecnologias de veículos híbridos e elétricos plug-in, o que facilita a migração para energia elétrica. • Conscientização política da necessidade de políticas públicas para reduzir as emissões do setor. • Entrada em vigor a partir de 01/01/2023 do Proconve P8, equivalente à norma europeia Euro 6, cujas emissões de alguns gases poluentes de motores são até 95% menores comparadas ao Euro 5.
	Ameaças: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidade limitada do Brasil de produção de biocombustíveis (etanol, biodiesel e HVO). • Custos dos biocombustíveis acima dos custos dos combustíveis atualmente utilizados. • Falta de qualidade e regulamentação nacional para biodiesel. • Incerteza na capacidade de geração de energia elétrica para atender a uma frota totalmente eletrificada. • Custo elevado dos veículos híbridos e elétricos plug-in.

Tabela 16. Análise SWOT para área temática de AFOLU.

<p>Fatores Internos (Características ou atributos do Estado)</p>	<p>Pontos Fortes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tradição florestal do Estado, com a presença de diversas atividades relacionadas à produção florestal, incluindo a presença de importantes empresas florestais. • Agricultura diversificada no Estado, facilitando a integração entre sistemas produtivos. • Avanço no domínio tecnológico dos processos produtivos (agrícolas, florestais e pecuários) no Estado do Espírito Santo. • Grande espaço para converter áreas degradadas em recuperadas, com grande potencial de fixar carbono. • Existência de ações de políticas públicas já consolidadas de Agricultura de Baixo Carbono. • Existência de ações de políticas públicas já consolidadas de incentivo ao plantio de florestas comerciais e projetos de restauração/recuperação da Mata Atlântica. • Disponibilidade de dados ambientais e de uso do solo, como por exemplo, imageamento remoto de todo o Estado e ampliação da rede de estações meteorológicas. • Crescimento contínuo da produtividade em praticamente todas as culturas (maior produção em menos área, comparado aos anos anteriores). • Crescimento marcante das pesquisas científicas e formação de recursos humanos em Ciências Agrárias. • Extensão rural presente em todos os municípios do Estado. • Fiscalização agropecuária e florestal presente em todos os municípios do Estado. • Potencial de produção de biocombustível no Estado. • Existência de diversidade climática no Estado. • Evolução do processo produtivo na cadeia da bovinocultura • Agricultura orgânica (bioinsumos).
---	---

Fatores Internos

(Características ou atributos do Estado)

Pontos Fracos:

- Remanescentes de Mata Atlântica representados, em sua maior parte, por fragmentos pequenos e isolados.
- Mapeamento do Inpe (SOS Mata Atlântica) aponta para um desflorestamento entre os anos de 2018 e 2019 no ES, na contramão da meta para 2020.
- A transferência de tecnologia e a assistência técnica no setor agrário não atende à demanda.
- Ausência de bases de dados locais (Estado do ES) com atualização periódica da produção florestal (a realização de inventários florestais contínuos não é uma política pública).
- Baixo entendimento e conscientização no setor produtivo agropecuário e florestal sobre a necessidade, oportunidades econômicas e vantagens ao realizar a descarbonização.
- Ausência de mecanismos acessíveis de quantificação de carbono para dar suporte aos interessados na comercialização de créditos de carbono.
- Ausência de políticas públicas para fomentar a formação de um mercado comprador, especialmente de produtos sustentáveis.
- Deficiências de algumas estruturas do Estado no sentido de monitorar e fiscalizar práticas inadequadas de uso do solo.
- Ausência de uma sede física, ou mesmo virtual, da Embrapa no Estado.
- Frequentes questionamentos em relação aos dados oficiais sobre área e produção agrícola e florestal.
- Baixo IDH, principalmente no Norte do Estado e alguns municípios do Sul do Estado.
- Pouco conhecimento sobre o uso de água subterrânea.
- Uso do solo composto em sua maior parte por pastagem, com alto percentual de áreas degradadas pela pecuária extensiva e de manejo inadequado.
- Baixa tecnificação na bovinocultura, dependência de insumos, mão de obra escassa e pouco qualificada.
- Presença de relevo acidentado em grande parte do estado, o que favorece a maior degradação destas áreas, além da baixa adesão de técnicas conservacionistas.

<p>Fatores Externos (Características ou atributos do ambiente externo)</p>	<p>Oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valorização pelo mercado consumidor de produtos orgânicos/agroecológicos/sustentáveis. • Valorização das commodities produzidas no Estado. • Interesse nacional crescente em biocombustíveis. • Possibilidade de financiamento externo para ampliar o Programa Reflorestar, incluindo oportunidades ligadas ao Mercado de Carbono. • Programa Agricultura de Baixo Carbono+ do Governo Federal.
<p>Fatores Externos (Características ou atributos do ambiente externo)</p>	<p>Ameaças:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No momento, os preços praticados no mercado voluntário de carbono ainda não são suficientemente atrativos para os produtores rurais do ES. • Por se tratar de um plano de longo prazo e depender de vontade e ação política (nas esferas municipal, estadual e federal), quaisquer mudanças nesse cenário podem gerar grandes impactos, sendo uma grande ameaça para que o plano se concretize. • Para o sucesso do plano, é fundamental o desenvolvimento de novas tecnologias na busca por processos produtivos mais eficientes, não só no balanço positivo de carbono, mas também em questões econômicas, sociais e ambientais, admitindo que se isso não ocorrer de forma simultânea, estas tecnologias não prosperarão. Sendo assim, a falta de fomento para o desenvolvimento tecnológico pode ser uma grande ameaça para que o plano seja bem-sucedido. • A intensificação de eventos climáticos adversos, especialmente a deficiência hídrica associada a ondas de calor, pode comprometer as ações definidas no plano. • As ações propostas no plano podem ser impactadas por flutuações de preço e oferta de insumos agrícolas. • No setor agropecuário e florestal as frequentes inseguranças jurídicas também podem comprometer ações do plano. • Ausência de fontes de financiamento para sustentar ações previstas no plano.

Tabela 17. Análise SWOT para área temática de Resíduos.

Fatores Internos (Características ou atributos do Estado)	Pontos Fortes: <ul style="list-style-type: none"> • O Estado tem planejamento para extinção dos lixões e aterros controlados, bem como os aterros capixabas em sua maioria já estão preparados para coleta e tratamento do biogás. • Devido à expressiva produção de resíduos orgânicos tanto no campo quanto nas cidades, o Estado tem potencial para o aproveitamento energético dessa biomassa. • Com relação aos tratamentos de Efluentes Sanitários e o lodo produzido por elas, o modelo de gestão favorece a centralização do tratamento em ETE que facilmente podem melhorar a eficiência de seus processos ou minimizar suas emissões de GEE. • O modelo de gestão desenvolvido pelo Governo de Estado para gestão de resíduos sólidos tem avaliado a aplicação de incentivos econômicos, bem como desenvolvido ferramentas de fiscalização, controle social, programas de capacitação e educação socioambiental, e implementação de Sistema Digital de Manejo de Resíduos, viabilizando a implantação de processos mais eficientes em termos de emissão de GEE, como também no acompanhamento dos programas Estaduais para este fim.
	Pontos Fracos: <ul style="list-style-type: none"> • O Estado ainda mantém aterros com coleta e queima passiva de biogás dificultando o incremento de eficiência do processo de coleta e queima com ou sem aproveitamento energético. • Embora ocorra em grande proporção, a fração orgânica do RDO exibe complexidade de segregação na fonte, enquanto aquela proveniente de RAA apresenta padrão de produção sazonal e dispersa em pequenos e grandes empreendimentos espalhados pelo território capixaba, dificultando a minimização de emissões em aterros ou a economicidade espacial de processos eficientes em termos de geração de GEE. • Para os efluentes industriais, as emissões estão distribuídas em estações (anaeróbias e aeróbias) instaladas junto aos geradores e espalhadas pelo Estado, dificultando a economicidade de sistemas consorciados mais eficientes em termos de emissões de GEE e consumo de energia. • Para a reciclagem de resíduos secos, percebe-se oneração excessiva causada por tributos fiscais, falta de subsídios e uma triagem prioritariamente manual em OCMRR, dificultando o desvio desses resíduos de aterros sanitários e potencializando as emissões de GEE. • Modelo de gestão ineficiente e financeiramente insustentável para distritos, zonas afastadas e rurais, baixa formação técnica e sensibilidade ambiental, ferramentas digitais de controle e fiscalização ainda inoperantes, bem como ausência de marco regulatório para aproveitamento energético de RSU dificultam o estabelecimento de sistemas mais eficientes em termos de redução de geração de GEE.

Fatores Externos

(Características ou atributos do ambiente externo)

Ameaças:

- Há um forte apelo ao impacto social da queima de rejeitos de RSU pela competição dessa destinação com a reciclagem material proporcionada pelos catadores de materiais recicláveis, aumentando a quantidade de rejeitos enviados a aterros sanitários e dificultando a viabilidade econômica de processos mais eficientes em termos de emissão de GEE.
- Alto custo operacional no gerenciamento do RSU e RSS e falta de apoio da gestão pública (capacitação e incentivos econômicos) para o manejo de RSU, RSPS e RSS, o que dificulta a implementação de soluções mais eficientes em termos de emissão de GEE.
- Falta de capacitação dos produtores rurais em monitorar e registrar a geração e o manejo de RAA, o que dificulta a gestão do resíduo e implementação de sistemas mais eficientes em termos de geração de GEE.
- Iniciativas ainda incipientes de estratégias de cobrança de taxas ou tarifas para a universalização e integralização do manejo de RSU e RSPS, o que aumenta as emissões e impossibilita a implementação de sistemas mais eficientes em termos de geração de GEE.

Oportunidades:

- O marco regulatório nacional para aproveitamento energético de rejeitos provenientes do manejo de RSU está em vias de aprovação, o que amplia a segurança jurídica para a instalação de processos mais eficientes em emissões de GEE.
- A queima de resíduos ou aproveitamento energético do biogás é uma tendência internacional com forte impacto na redução das emissões relativas à disposição de resíduos em aterros sanitários, aterros controlados e lixões.
- O PLANARES descreveu ações para regulamentação da compostagem e do tratamento mecânico biológico com aproveitamento de biogás para a destinação da fração orgânica dos RLU, o que favoreceria segurança jurídica e a economicidade espacial de processos mais eficientes na geração de GEE.
- O PLANARES descreveu a necessidade de ampliação da coleta seletiva de resíduos secos recicláveis, o que minimizaria a emissão de GEE em aterros sanitários.
- Necessidade de regulamentação para implantação de processos térmicos para tratamento de RSS ou reciclagem energética de rejeitos com cuidado para controle de emissões atmosférica, o que favoreceria segurança jurídica e a economicidade espacial de processos mais eficientes na geração de GEE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993. NBR 12808: Resíduos de serviços de saúde.
- ABRACEEL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMERCIALIZADORES DE ENERGIA. Boletim Anual Abraceel, 2022. Disponível em:
<https://abraceel.com.br/biblioteca/boletim/2023/06/boletim-anual-abraceel-2022/>.
- ASRP-ES - AGÊNCIA DE REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DO ESPÍRITO SANTO, 2021. BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE ESPÍRITO SANTO BEES 2021 - ANO BASE 2020, 2022. Disponível em:
<https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Boletins/Balan%C3%A7o%20Energ%C3%A9tico/BEES2021-Base2020.pdf>.
- ASRP-ES - AGÊNCIA DE REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DO ESPÍRITO SANTO, 2022. Informações Energéticas do Espírito Santo – Janeiro a Março 2022, 2022b. Disponível em:
https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Boletins/Boletins/1INFORMACOES_ENERGETICAS_JAN_MAR_2022.pdf.
- ASPE - AGÊNCIA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2009. Atlas Eólico do Espírito Santo. Disponível em:
<https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Estudos%20Energ%C3%A9ticos/2009/AtlasEolicoES.pdf>.
- ASPE - AGÊNCIA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, Energia Solar no Espírito Santo - Tecnologias, Aplicações e Oportunidades, 2013. Disponível em:
<https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Estudos%20Energ%C3%A9ticos/2013/EnergiaSolarES.pdf>
- AGHDAM, E. F., SCHEUTZ, C., KJELDEN, P. (2019). Impact of meteorological parameters on extracted landfill gas composition and flow. *Waste Management*, 87, 905–914. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.045>.
- AJANOVIC, A., HAAS, R., On the Environmental Benignity of Electric Vehicles, 2019, *Journal of Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems*, 7(3), DOI: [dx.doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0252](https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0252).

- ABESOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2022. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>.
- ABRACEEL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, 2022. Mercado livre de energia bate recorde de comercialização de fontes renováveis, 2022, disponível em: <https://abraceel.com.br/press-releases/2022/11/mercado-livre-de-energia-bate-recorde-de-comercializacao-de-fontes-renovaveis/>
- BRASIL, LEI Nº 14.300 de 06 de janeiro de 2022, disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>.
- BRASIL, 2020. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Plano Nacional de Energia 2050 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>
- BRASIL, 2022. Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES. Ministério do Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>.
- C40 Cities, ICLEI, WRI, 2014. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories, 2014, disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GPC_Full_MASTER_RW_v7.pdf.
- CEDAGRO - Centro de Desenvolvimento do Agronegócio, 2012. Dimensionamento do mercado capixaba de produtos florestais madeiráveis. 111 p. Vitória, 2012. Disponível em: <https://www.cedagro.org.br>
- CEMC – Comissão Estadual de Mudanças Climáticas, 2021. Nota Conceitual para elaboração do Plano Estadual de Mudanças Climáticas, Fórum Capixaba de Mudanças Climáticas, Vitória/ES, 2021.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte, 2022. Pesquisa CNT de Rodovias 2021. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>.
- DAVID, A.C., 2002. Secagem térmica de lodos de esgoto: Determinação da umidade de equilíbrio. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018. Mudanças climáticas e transição energética, <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia>.

- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021. Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio, Nota Técnica, o EPE-DEA-NT-003/2021, 2021, disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf)
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021b. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, 2021b, disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021c. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, 2021c, disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20Sumario%20-%20PDE%202030_rvFinal.pdf
- ESPÍRITO SANTO, 2019. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Disponível em: <https://seama.es.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos>.
- EU - EUROPEAN UNION, 2021. EU hydrogen policy Hydrogen as an energy carrier for a climate-neutral economy. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689332/EPRS_BRI\(2021\)689332_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689332/EPRS_BRI(2021)689332_EN.pdf)
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017. Censo Agropecuário 2006/2017. Disponível em https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/informativos.html> Acesso em 29/04/2022.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020. Ranking e indicadores do setor pecuária, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/pesquisa/18/16459?tipo=ranking&indicador=16559&ano=202>. Acesso em 29/04/2022.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022. IBGE, Cidades, 2022, disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/panorama>
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2022. Portaria Normativa Nº 14, DE 18 de março de 2022, 2022, disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-14-de-18-de-marco-de-2022-387160324>

- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2022. Mapas de projetos em licenciamento - Complexos Eólicos Offshore, 2022, disponível em: <http://www.ibama.gov.br/laf/consultas/mapas-de-projetos-em-licenciamento-complexos-eolicos-offshore>
- INCAPER - INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, 2022. Painel Agro: Painel da produção agropecuária do Espírito Santo. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYzVhOWZmOGltZWJjNi00MmUzLTg2ZGMtYzk0NDI2Y2UyMmFmIiwidCI6IjhiMjA4ZmViLTlyMTYtNDQ1Zi1iZmQxLTk1MjU4ZDlkMjExMSJ9&pageName=ReportSection>, Acesso em 25/04/2022.
- IDEIES - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL E INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO, 2021. Panorama da Indústria do Espírito Santo, Vol. 2. Espírito Santo: IDEIES. Disponível em: https://portaldaindustria-es.com.br/system/repositories/files/000/001/060/original/panorama_industria_do_espirito_santo_2021.pdf?1633114460.
- IDEIES - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL E INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO, 2018. Setores portadores de futuro para o Estado do Espírito Santo 2035. Espírito Santo: IDEIES, 2018. Disponível em: https://portaldaindustria-es.com.br/system/repositories/files/000/000/222/original/setores_port.pdf?1558105407.
- IDEIES - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL E INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO, 2022, Anuário da indústria do petróleo e gás natural no Espírito Santo 2021. Disponível em: <https://www.portaldaindustria-es.com.br/publicacao/observatorio-da-industria-lanca-6-edicao-do-anuario-da-industria-do-petroleo-e-gas-natural-no-espirito-santo-2022>.
- IJSN - INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES, 2019. PIB Espírito Santo 2019. Disponível em <http://www.ijsn.es.gov.br/artigos/6067-produto-interno-bruto-pib-estadual-2019>. Acesso em 29/04/2022.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021. The Role of Gas in Today's Energy Transitions World Energy Outlook special report, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-gas-in-todays-energy-transitions>.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2021: Mitigation of Climate Change, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>.

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2022. Panorama do Hidrogênio no Brasil, 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf
- LIMA, A. C. et al., 2015. Potencial Hídrico do Estado do Espírito Santo - Energia, Uso Sustentável E Tecnologias / Hydric Potential Of The Espírito Santo State (Br) - Energy, Sustainable Use And Technologies, IX Congresso Brasileiro de Regulação e 3ª EXPOABAR, Brasília - DF, agosto de 2015, disponível em: <https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Estudos%20Energ%C3%A9ticos/2021/PotencialHidricoES2015-Artigo.pdf>.
- MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES, 2021. Resultados do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa por Unidade Federativa, Brasília, 2021, disponível em https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/livro_digital_5ed_estimativas_anuais.pdf
- MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES, 2021. 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, ISBN: 978-65-87432-15-1, disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/clima/arquivos/avaliacao-das-necessidades-tecnologicas-para-implementacao-de-planos-de-acao-climatica-no-brasil/relatorio-de-avaliacao-de-necessidades-tecnologicas-para-implementacao-de-planos-de-acao-climatica-no-brasil-mitigacao.pdf>
- MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES, 2021b. SIRENE, Fator médio - Inventários corporativos, Brasília, 2021b, disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>
- MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES, 2022. SIRENE, RESULTADOS DO INVENTÁRIO NACIONAL POR UNIDADE FEDERATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA, Brasília, 2022, disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/LO_GIZ_RESULTADOINVENTARIO_00_PAGINASINDIVIDUAIScompactado.pdf

- OC - OBSERVATÓRIO Do CLIMA, 2021. Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa – SEEG, 2021. Disponível em:
https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission.
- PEDROZA, M.M., VIEIRA, G.E.G., SOUSA, J.F. de PICKLER, A. de C., LEAL, E.R.M., MILHOMEN, C. da C., 2010. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. Rev. Lib. 11, 147–158.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J.
G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>
- ESPÍRITO SANTO, 2016. Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura do Espírito Santo – PEDEAG3, 2016. Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. Governo do Estado do Espírito Santo. Disponível em:
[https://seag.es.gov.br/Media/seag/Documentos/PEDEAG_Completo_sem%20ficha%20t%C3%A9cnica%20\(1\).pdf](https://seag.es.gov.br/Media/seag/Documentos/PEDEAG_Completo_sem%20ficha%20t%C3%A9cnica%20(1).pdf).
- PORTAL SOLAR, 2022. As Maiores Usinas De Energia Solar Do Brasil. Disponível em:
<https://www.portalsolar.com.br/maiores-usinas-de-energia-solar-do-brasil>
- PROGRAMA BRASILEIRO GHG, 2011. Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol - Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa, FGV, 2011. Disponível em:
https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf
- SIEMENS ENERGY, Hydrogen infrastructure – the pillar of energy transition: The practical Conversion of long-distance gas networks to hydrogen operation, 2020, Disponível em: https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:3d4339dc-434e-4692-81a0-a55adbcaa92e/200915-whitepaper-h2-infrastructure-en.pdf?ste_sid=5b92b921fa7994a7e67b4514564f2b8c.
- SILVA, T. B, DELGADO, F., LEAPFROGGING DO GÁS NATURAL NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: MAIS RENOVÁVEIS, MAIS TECNOLOGIAS E MAIS STRANDED ASSETS, 2018, COLUNA OPINIÃO, FGV ENERGIA, AGOSTO, disponível em:
https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/coluna_opinioao_-_leapfrogging.pdf

- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2019. DIAGNÓSTICO ANUAL DE ÁGUA E ESGOTO. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos>.
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2020. Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2019. Brasília. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-antiores-do-snis/residuos-solidos-1/2019/Diagnostico_RS2019.pdf
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2021. Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos: Visão geral. Brasília.
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2022. Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos: Gestão Administrativa e Financeira. Brasília, disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2021.pdf
- U.S. EIA - Energy Information Administration, 2022. How Much Carbon Dioxide Is Produced per Kilo Watt Hour of U.S. Electricity Generation?, 2022. Disponível em: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11#:~:text=In%202020%2C%20total%20U.S.%20electricity,CO2%20emissions%20per%20kWh>
- VALVERDE, S.R.; OLIVEIRA, G.G. DE; SOARES, T.S.; CARVALHO, R.M.A.M. Participação do setor florestal nos indicadores socioeconômicos do Estado do Espírito Santo. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.105-113, 2005.