



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

Cadeias Produtivas do Estado do Rio Grande do Sul

Mapeamento das emissões e
remoções de Gases de Efeito Estufa

Relatório Final 2025

Para fazer o download deste e outros materiais, visite: <https://www.proclima2050.rs.gov.br/inicial>

Este documento foi coordenado pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul, através da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, por meio da Assessoria do Clima, e realizado pelo ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, em parceria com a Ecofinance Negócios e a Wyse Conexão. Trata-se do relatório final de Cadeias Produtivas do Estado do Rio Grande do Sul: Mapeamento das emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa, desenvolvido no âmbito do processo de Conformidade Climática do Estado.

Este trabalho pode ser copiado, redistribuído e adaptado para fins não comerciais, desde que seja devidamente citado. Em qualquer utilização deste trabalho, não deve haver qualquer sugestão de que o ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade endossa qualquer organização, produto ou serviço específico.

Citação sugerida:

Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, Ecofinance Negócios e Wyse Conexão. Cadeias Produtivas do Estado do Rio Grande do Sul: Mapeamento das emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa.

Porto Alegre: Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, Ecofinance Negócios e Wyse Conexão, 2025.

ISBN 978-85-99093-47-4

Para informações adicionais, por favor, contatar:

ICLEI América do Sul, R. Marquês de Itu, 70 - Vila Buarque, São Paulo – Brasil, 01223-000
iclei-sams@iclei.org.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Rio Grande do Sul (Estado). Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura
Cadeias produtivas do Estado do Rio Grande do Sul
[livro eletrônico] : mapeamento das emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa / Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade. -- Porto Alegre, RS : ICLEI Governos Locais pela Sustentabilidade, 2026.
PDF

Bibliografia
ISBN 978-85-99093-47-4

1. Agronegócio 2. Desenvolvimento sustentável 3. Efeito estufa (Atmosfera)
4. Emissões de gases efeito estufa 5. Meio ambiente 6. Pecuária 7. Petroquímica
8. Rio Grande do Sul (RS) 9. Silvicultura I. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade. II. Título.

26-362945.1

CDD-338.1

Índices para catálogo sistemático:

1. Agronegócios e desenvolvimento sustentável : Economia 338.1
Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

Cadeias Produtivas do Estado do Rio Grande do Sul

Mapeamento das emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa

Relatório Final 2025

Este produto é parte da Conformidade Climática do Estado do Rio Grande do Sul



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

Governo do Estado do Rio Grande do Sul

Eduardo Leite - *Governador*

Gabriel Souza - *Vice-Governador*

Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA)

Marjorie Kauffmann - *Secretária do Meio Ambiente e Infraestrutura*

Marcelo Camardelli Rosa - *Secretário Adjunto do Meio Ambiente e Infraestrutura*

Daniela Mueller de Lara - *Coordenadora da Assessoria do Clima*

Mariana Pavlick Pereira - *Assessora Técnica da Assessoria do Clima*

Diogo Fernando Heck - *Assessor Técnico da Assessoria do Clima*

Ricardo Andrezza - *Assessor Técnico da Assessoria do Clima*

Orozimbo Silveira Carvalho - *Especialista em Infraestrutura da Assessoria do Clima*

Luiz Antonio Freitas Junior - *Especialista em Tecnologia da Informação e Comunicação*

Maria Eduarda de Oliveira da Silva - *Estagiária da Assessoria do Clima*

Grupo Executivo

Rafael Maraschin Guigou, Valmir Zanatta, Liana Barbizan Tissiani - *Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura*

Leonardo Peraça da Silva, Carla Marle Paulitsch - *Secretaria de Desenvolvimento Econômico*

Alexandre Batista Scheifler, Cassio Martinez Machado - *Secretaria de Desenvolvimento Rural*

Lucas Corrêa Born - *Secretaria Estadual da Saúde*

Marlon Silva de Souza, Edinei Rodrigues Pavão - *Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Metropolitano*

Daiane Boelhauer Menezes, Itzayana González Ávila, Fernando Preusser de Matt - *Secretaria da Reconstrução Gaúcha*

Ana Maria Hermes, Ana Amélia Da Cas Lima Duarte - *Defesa Civil*

Madalena Heinen, Alexandra Cruz Passuelo - *Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia*

Ari Borges dos Santos - *Secretaria de Obras Públicas*

Álvaro Luiz de Melo Machado - *Secretaria de Turismo*

Vera Inêz Salgueiro Lermen, Maria do Socorro Ramos Barbosa - *Secretaria de Planejamento e Gestão e Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais*

Tiago da Silva Pinz, Wesley Henrique do Carmo Oliveira - *Secretaria da Fazenda*



ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

Secretaria Executiva

Rodrigo Perpétuo - *Secretário Executivo ICLEI América do Sul*

Rodrigo Corradi - *Secretário Executivo Adjunto e Diretor ICLEI Brasil*

Armelle Cibaka - *Gerente de Planejamento, Gestão e Conhecimento*

Coordenação Técnica

Keila Ferreira - *Coordenadora Técnica Brasil*

Marília Israel - *Coordenadora Técnica Regional*

Stephania Aleixo - *Coordenadora Técnica Regional*

Project Management Office

Maria Fernandes Caldas - *Senior Fellow de Desenvolvimento Sustentável*

Coordenação e Desenvolvimento Técnico dos Estudos de Cadeias Produtivas

Léa Gejer - *Coordenadora Técnica Brasil*

Iris Coluna - *Assessora da Área Técnica Regional*

Maria Fernandes Caldas - *Senior Fellow de Desenvolvimento Sustentável*

Joice Oliveira - *Analista da Área Técnica Regional*

Gustavo Sanches da Silva - *Analista da Área Técnica Brasil*

Equipe de Comunicação

Fernanda Gouveia - *Analista de Comunicação Regional*

Gustavo Barboza - *Assistente de Comunicação Regional*

Colaboradores Externos

Apoio Técnico

Ecofinance Negócios

Eduardo Baltar - *CEO*

Anna Luisa Netto - *Consultora Associada*

Jhulie Ferreira - *Consultora Associada*

Andrew Messias - *Consultor*

Mirela Coelho - *Consultora*

Lucimara Carvalho - *Assistente de Projetos*

Livia Oliveira - *Consultora*

Fábio Teixeira - *Consultor*

Gerd Angelkorte - *Consultor*

Luiz Bernardo Baptista - *Consultor*

Mariana Ciotta - *Consultora*

Wyse Conexão

Christian Wyse de Lemos - *CEO*

Priscilla Souza Agassis Machado - *Consultora*

Diagramação

Max Tango - *Arquiteto e Designer*

LISTA DE SIGLAS

AGEFLOR	Associação Gaúcha de Empresas Florestais
BERGS	Balanço Energético do Rio Grande do Sul
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUDR	European Union Deforestation-Free Regulation
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG	Greenhouse Gas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
ISO	Organização Internacional de Normalização
MUT	Mudança do Uso da Terra
PFM	Produtos Florestais Madeireiros
PNMC	Plano Setorial de Mitigação da Política Nacional de Mudanças Climáticas
REFAP	Refinaria Alberto Pasqualini
RPR	Refinaria de Petróleo Riograndense
RS	Rio Grande do Sul
SBCE	Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura
SIN	Sistema Interligado Nacional
VAB	Valor Adicionado Bruto

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Teia de stakeholders que contribuíram com a coleta de dados do mapeamento das emissões e remoções das cadeias produtivas.....	25
Figura 2 - Cadeia petroquímica do estado do Rio Grande do Sul.....	27
Figura 3 - Recorte para contabilização das emissões de GEE da cadeia petroquímica.....	28
Figura 4 - Emissões ano a ano por etapa da cadeia petroquímica (tCO ₂ e/ %)......	31
Figura 5 - Cadeia da Silvicultura do estado do Rio Grande do Sul.....	34
Figura 6 - Recorte adotado para contabilização das emissões de GEE da cadeia da silvicultura.....	35
Figura 7 - Emissões e remoções ano a ano - Floresta Plantada (tCO ₂ e).....	40
Figura 8 - Emissões ano a ano - Indústria de Papel e Celulose (tCO ₂ e).....	41
Figura 9 - Emissões ano a ano - Indústria de Papel e Celulose (tCO ₂ e).....	42
Figura 10 - Emissões ano a ano Consolidado – cadeia da Silvicultura (tCO ₂ e).....	43
Figura 11 - Cadeia do Arroz do estado do Rio Grande do Sul.....	45
Figura 12 - Emissões ano a ano Consolidado – cadeia do arroz (tCO ₂ e).....	47
Figura 13 - Emissões da etapa de cultivo de arroz, por região produtora (tCO ₂ e).....	55
Figura 14 - Emissões da etapa de solo manejados, por região produtora (tCO ₂ e).....	56
Figura 15 - Emissões/ remoções ano a ano da etapa de mudança de uso da terra e floresta (tCO ₂ e).....	57
Figura 16 - Emissões ano a ano das etapas do transporte do arroz (tCO ₂ e).....	58
Figura 17 - Emissões do processo de beneficiamento (tCO ₂ e).....	59
Figura 18 - Cadeia dos bovinos de corte do estado do Rio Grande do Sul.....	60
Figura 19 - Cadeia dos bovinos leiteiros do estado do Rio Grande do Sul.....	61
Figura 20 - Recorte sugerido para contabilização das emissões de GEE da cadeia dos bovinos de corte.....	62
Figura 21 - Recorte sugerido para contabilização das emissões de GEE da cadeia dos bovinos leiteiros.....	63
Figura 22 - Evolução da área de pastagem e produtividade da pecuária no Rio Grande do Sul.....	72
Figura 23 - Evolução da idade média de abate dos bovinos no Rio Grande do Sul (em meses).....	72
Figura 24 - Indicador do leite no período analisado (tCO ₂ e / mil litros de leite produzido).....	72
Figura 25 - Emissões e remoções ano a ano – Pastagens (tCO ₂ e).....	74
Figura 26 - Emissões ano a ano – Bovinos de Corte (tCO ₂ e).....	75
Figura 27 - Emissões ano a ano – Bovinos Leiteiros (tCO ₂ e).....	76
Figura 28 - Emissões e remoções ano a ano – Total Geral (tCO ₂ e).....	77
Figura 29 - Emissões e remoções ano a ano – Abordagens em Construção (tCO ₂ e).....	78
Figura 30 - Cadeia de soja do estado do Rio Grande do Sul.....	79
Figura 31 - Recorte sugerido para contabilização das emissões de GEE da cadeia da soja.....	81
Figura 32 - Emissões ano a ano – Cultivo da soja (tCO ₂ e).....	86
Figura 33 - Emissões ano a ano – Processamento da soja (tCO ₂ e).....	87
Figura 34 - Emissões ano a ano – Exportações e importações (tCO ₂ e).....	88
Figura 35 - Emissões ano a ano – Total Geral (tCO ₂ e).....	89
Figura 36 - Emissões e remoções ano a ano – Abordagens em construção (tCO ₂ e).....	90
Figura A.1 - Entradas federais do RS, partindo da Argentina e Uruguai.....	142
Figura A.2 - Ponto médio das regiões produtoras e saídas federais do RS.....	144
Figura A.3 - Saídas federais do RS.....	156
Figura A.4 - Idade média de abate dos bovinos (em meses) no período analisado.....	160
Figura A.5 - Pegada de carbono do leite no período analisado (tCO ₂ e / mil litros de leite produzido).....	162
Figura A.6 - Entradas federais do RS, partindo da Argentina e Uruguai.....	180

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissões (tCO ₂ e) da cadeia Petroquímica entre 2018 e 2023.....	29
Tabela 2 - Resumo do resultado de Emissões (tCO ₂ e) da cadeia Petroquímica por etapa da cadeia entre 2018 e 2023.....	30
Tabela 3 - Emissões/Remoções, em CO ₂ e, associados aos produtos florestais madeireiros, mudanças de uso da terra e manejo florestal.....	37
Tabela 4 - Estoque de carbono (tC) por ano e por tipo de árvore.....	37
Tabela 5 - Emissões Evitadas por Autogeração de Energia Renovável (tCO ₂ e).....	38
Tabela 6 - Emissões (tCO ₂ e) da cadeia da Silvicultura entre 2018 e 2023.....	38
Tabela 7 - Emissões/Remoções líquidas da cadeia parcial da Silvicultura entre 2018 e 2023.....	39
Tabela 8 - Emissões da cadeia do arroz entre 2018 e 2023 (tCO ₂ e/ %)......	48
Tabela 9 - Emissões diretas de CH ₄ , da cadeia do arroz entre 2018 e 2023, por tipo de cultivo (tCO ₂ e/ %)......	54
Tabela 10 - Emissões associadas às pastagens.....	64
Tabela 11 - Emissões e Remoções (tCO ₂ e) das abordagens em construção entre 2018 e 2023.....	66
Tabela 12 - Emissões (tCO ₂ e) da cadeia de Bovinos de Corte entre 2018 e 2023.....	68
Tabela 13 - Estimativa de emissões, em tCO ₂ e, decorrentes da fermentação entérica de bovinos de corte.....	68
Tabela 14 - Emissões (tCO ₂ e) da cadeia de Bovinos Leiteiros entre 2018 e 2023.....	70
Tabela 15 - Estimativa de emissões, em tCO ₂ e, decorrentes da fermentação entérica de bovinos leiteiros.....	70
Tabela 16 - Emissões (tCO ₂ e) da Cadeia da Pecuária entre 2018 e 2023.....	73
Tabela 17 - Emissões (tCO ₂ e) da cadeia da soja entre 2018 e 2023.....	83
Tabela 18 - Emissões (tCO ₂ e) das abordagens em construção para a cadeia da soja entre 2018 e 2023.....	85
Tabela A.1 - Produção de nafta e propeno das refinarias do RS utilizadas pelo polo.....	101
Tabela A.2 - Emissão direta por quilo de nafta produzida – processo de produção.....	101
Tabela A.3 - Estimativa de emissões associadas à produção de Nafta – Refap e Riograndense (tCO ₂ e).....	102
Tabela A.4 - Estimativa de emissões de produção de Propeno (tCO ₂ e).....	102
Tabela A.5 - Estimativa de emissões para a produção de Nafta e Propeno, por ano (tCO ₂ e).....	102
Tabela A.6 - Fatores de emissão para transporte via barçaça.....	103
Tabela A.7 - Estimativa de emissões de transporte da refinaria Riograndense ao Polo Petroquímico de Triunfo (tCO ₂ e).....	103
Tabela A.8 - Estimativa de emissões de transporte da refinaria Refap ao Polo Petroquímico de Triunfo (tCO ₂ e).....	104
Tabela A.9 - Estimativa de emissões de transporte de Nafta e Propeno ao Polo Petroquímico de Triunfo (tCO ₂ e).....	104
Tabela A.10 - Emissões reportadas de escopos 1 e 2 para os anos de 2018 a 2021 – Indústrias de Primeira Geração.....	105
Tabela A.11 - Emissões reportadas de escopos 1 e 2 por categoria para os anos de 2022 a 2023 – Indústrias de Primeira Geração.....	105
Tabela A.12 - Emissões de escopos 1 e 2 reportadas pela Empresa A para os anos de 2018 a 2023.....	106
Tabela A.13 - Emissões de escopos 1 e 2 reportadas pela Empresa B para os anos de 2018 a 2021.....	106
Tabela A.14 - Emissões de escopos 1 e 2 por categoria reportadas pela Empresa B para os anos de 2022 a 2023.....	107
Tabela A.15 - Emissões de escopos 1 e 2 por categorias reportadas pela Empresa C para os anos de 2018 a 2023.....	107

Tabela A.16 - Total de Emissões de escopos 1 e 2 reportadas pelas indústrias de segunda geração (tCO ₂ e).....	108
Tabela A.17 - Emissões/ remoções associadas à mudança de uso da terra (tCO ₂ e).....	109
Tabela A.18 - Produção de madeira no Rio Grande do Sul.....	110
Tabela A.19 - Remoções decorrentes da colheita de madeira plantada.....	110
Tabela A.20 - Representatividade do RS na produção brasileira de PFM.....	111
Tabela A.21 - Representatividade do RS na exportação brasileira de PFM.....	112
Tabela A.22 - Representatividade do RS na importação brasileira de PFM.....	112
Tabela A.23 - Importação e exportação de PFM (em Gg C ano-1).....	113
Tabela A.24 - Variação do estoque de carbono de PFM em uso.....	113
Tabela A.25 - Síntese da contribuição dos PFM.....	114
Tabela A.26 - Representatividade das florestas plantadas do setor de papel e celulose.....	115
Tabela A.27 - Dados do setor de papel e celulose de hectares de floresta plantada e emissão por atividades agrícolas.....	115
Tabela A.28 - Emissões estaduais por atividades agrícolas (uso de fertilizantes, calcário e cinza calcítica) na silvicultura.....	116
Tabela A.29 - Principais espécies plantadas no Rio Grande do Sul (hectares).....	116
Tabela A.30 - Estoque de carbono (C) por ano e por tipo de árvore.....	116
Tabela A.31 - Dados do IBGE para quantidade produzida na silvicultura.....	117
Tabela A.32 - Emissão por m ³ de madeira produzida associada ao uso de veículos no manejo florestal e transporte até as fábricas de demais destinos a partir dos dados do setor de papel e celulose.....	117
Tabela A.33 - Emissão associada uso de veículos no manejo florestal e transporte até as fábricas de demais destinos para o RS (tCO ₂ e).....	118
Tabela A.34 - Emissões de escopos 1 e 2 por categoria reportadas pelo setor de papel e celulose para os anos de 2018 a 2023.....	118
Tabela A.35 - Emissões Evitadas por Autogeração de Energia Renovável (tCO ₂ e).....	119
Tabela A.36 - Emissões de transporte do papel e celulose produzidos pelo setor (tCO ₂ e).....	120
Tabela A.37 - Emissões de transporte do papel e celulose produzidos pelo setor (tCO ₂ biog.).....	120
Tabela A.38 - Carvão vegetal produzido, por ano.....	120
Tabela A.39 - Fatores de emissão para o carvoejamento.....	121
Tabela A.40 - Emissões do processo de carvoejamento.....	121
Tabela A.41 - Consumo de lenha (t) e carvão vegetal (t) como insumo energético.....	122
Tabela A.42 - Emissões associadas à queima de lenha e carvão vegetal no RS, por setor (tCO ₂ e).....	122
Tabela A.43 - Emissões totais associadas à queima de Lenha e carvão vegetal no RS, por GEE e tCO ₂ e.....	123
Tabela A.44 - Área plantada de arroz irrigado no Rio Grande do Sul (ha).....	124
Tabela A.45 - Produtividades das áreas (rendimento médio da produção) (kg/ha).....	124
Tabela A.46 - Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2017/18.....	125
Tabela A.47 - Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2018/19.....	125
Tabela A.48 - Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2019/20.....	125
Tabela A.49 - Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2020/21.....	126
Tabela A.50 - Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2021/22.....	126
Tabela A.51 - Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2022/23.....	126
Tabela A.52 - Fatores de escala.....	127
Tabela A.53 - Aporte de material orgânico no solo (ROA), por região produtora e ano.....	128
Tabela A.54 - Fator de escala que reflete o aporte de material orgânico ao solo (SFo), por região produtora e ano.....	129
Tabela A.55 - Fator de emissão diário (EF) – Outros Sistemas (kg CH ₄ /ha/dia), por região produtora e ano.....	129
Tabela A.56 - Média anual do percentual de biodiesel no diesel.....	130
Tabela A.57 - Fatores de emissão – Combustão Móvel.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela A.58 - Fatores de Emissão do Sistema Interligado Nacional – Fator anual.....	131
Tabela A.59 - Parâmetros utilizados para a estimativa de consumo de energia elétrica na irrigação.....	131
Tabela A.60 - Área colhida de arroz inundado no Rio Grande do Sul (ha).....	134
Tabela A.61 - Quantidade de arroz produzido no Rio Grande do Sul (toneladas).....	135
Tabela A.62 - Rendimento fresco colhido da cultura do arroz inundado (CROP), por região e por ano.....	135
Tabela A.63 - Rendimento anual de matéria seca colhida (CROP), por região produtora e por ano.....	136
Tabela A.64 - Quantidade de matéria seca da parte aérea (AGDM), por região e por ano.....	136
Tabela A.65 - Quantidade de nitrogênio no solo por resíduo da cultura do arroz inundado (FCR), por região e por ano.....	137
Tabela A.66 - Resumo dos parâmetros utilizados para calcular FCR de resíduos de cultura na cadeia do arroz.....	138
Tabela A.67 - Resumo dos parâmetros utilizados para calcular FCR de resíduos de cultura na cadeia do arroz (emissões indiretas).....	139
Tabela A.68 - Emissões/ remoções por tipo de mudança de uso da terra na cadeia do arroz.....	139
Tabela A.69 - Quantidade de arroz beneficiado no RS (toneladas).....	141
Tabela A.70 - Quantidade de arroz importado no RS (toneladas).....	142
Tabela A.71 - Quantidade de arroz exportado (toneladas).....	143
Tabela A.72 - Fatores de emissão utilizados para o cálculo das emissões por transporte rodoviário.....	145
Tabela A.73 - Média anual do percentual de biodiesel no diesel.....	145
Tabela A.74 - Resumo dos parâmetros utilizados para calcular as emissões do processo de beneficiamento.....	146
Tabela A.75 - Emissões/remoções associadas à mudança de uso da terra para pastagens (tCO ₂ e).....	146
Tabela A.76 - Áreas de pastagem no RS.....	147
Tabela A.77 - Quantidade de Calcário Agrícola consumido no RS, por peso e ano.....	148
Tabela A.78 - Fatores de emissão para os Fertilizantes aplicados às pastagens.....	148
Tabela A.79 - Emissões decorrentes do uso de fertilizantes em pastagem.....	149
Tabela A.80 - Quantidade de produto derivado da soja consumido por categoria de bovino, por ano.....	149
Tabela A.81 - Indicadores de emissões por tonelada de soja produzida, para o farelo de soja (em tCO ₂ e / tonelada de soja).....	150
Tabela A.82 - Indicadores de emissões por tonelada de soja produzida, para a ração de soja (em tCO ₂ e / tonelada de soja).....	150
Tabela A.83 - Rebanhos de corte e leite.....	151
Tabela A.84 - Emissões associadas à produção de ração de soja para o rebanho leiteiro.....	151
Tabela A.85 - Emissões de resíduos agrícolas em pastagens (tCO ₂ e).....	152
Tabela A.86 - Razão entre bovinos confinados e total de bovinos no RS, no ano de 2006.....	152
Tabela A.87 - Fatores de emissão de CH ₄ , para a Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos.....	153
Tabela A.88 - Taxa de excreção anual dos bovinos.....	153
Tabela A.89 - Parâmetros usados para estimar as emissões diretas de N ₂ O para o Manejo de Dejetos.....	153
Tabela A.90 - Estimativa de emissões dos Bovinos de corte.....	154
Tabela A.91 - Estimativa de emissões dos Bovinos leiteiros.....	154
Tabela A.92 - Peso médio dos bovinos, por faixa de idade, tipo de animal e gênero.....	155
Tabela A.93 - Número de bovinos movimentados, por finalidade e ano.....	157
Tabela A.94 - Média anual do percentual de Biodiesel misturado no Óleo Diesel Comercial.....	157
Tabela A.95 - Emissões do Transporte de gado para o abate.....	157
Tabela A.96 - Emissões do Transporte de gado de corte para exportação.....	158

Tabela A.97 - Emissões da Movimentação bovinos de corte (menos abate e exportação).....	158
Tabela A.98 - Emissões da Movimentação bovinos leiteiros (menos abate e exportação).....	158
Tabela A.99 - Emissões Totais da Movimentação de bovinos vivos (de corte e leiteiros).....	159
Tabela A.100 - Estimativa de emissões dos frigoríficos para o abate dos animais.....	159
Tabela A.101 - Número de animais transportados para o abate, por idade.....	160
Tabela A.102 - Estimativa de emissões da carne bovina transportada, por ano.....	161
Tabela A.103 - Estimativa de emissões de leite transportado, por ano.....	161
Tabela A.104 - Produtos lácteos categorizados e fonte de dados das respectivas demandas energéticas de fabricação.....	163
Tabela A.105 - Fator médio anual do SIN.....	163
Tabela A.106 - Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis.....	164
Tabela A.107 - Estimativa de emissões, em tCO ₂ e, decorrentes da produção de laticínios.....	164
Tabela A.108 - Estimativa de emissões dos laticínios transportada, por ano.....	165
Tabela A.109 - Proporção entre área de pastagem e área de agricultura no Rio Grande do Sul.....	165
Tabela A.110 - Emissões/remoções associadas à mudança de uso da terra para Mosaico de agricultura e pastagem (tCO ₂ e).....	166
Tabela A.111 - Fatores de emissão e remoção por cobertura do solo.....	167
Tabela A.112 - Áreas de pastagem, em hectares, por nível de vigor e ano.....	167
Tabela A.113 - Emissões associadas às pastagens no Estado (tCO ₂ e).....	168
Tabela A.114 - Remoções de ILPF associadas às pastagens no Estado (tCO ₂ e).....	168
Tabela A.115 - Emissões de queimadas associadas às pastagens do estado (tCO ₂ e).....	169
Tabela A.116 - Emissões associadas à mudança de uso da terra para soja (tCO ₂ e).....	170
Tabela A.117 - Área de cultivo de soja no RS.....	171
Tabela A.118 - Fatores de emissão para os Fertilizantes aplicados na soja.....	172
Tabela A.119 - Quantidade de Calcário Agrícola consumido no RS, por peso e ano.....	172
Tabela A.120 - Emissões decorrentes do uso de fertilizantes no cultivo de soja.....	172
Tabela A.121 - Quantidade produzida e área colhida de soja, no Rio grande do Sul, por ano.....	173
Tabela A.122 - Resumo dos parâmetros utilizados para calcular FCR de resíduos de cultura na cadeia da soja.....	173
Tabela A.123 - Média anual do percentual de biodiesel no diesel.....	173
Tabela A.124 - Fatores de emissão – Combustão Móvel.....	174
Tabela A.125 - Emissões associadas ao consumo de diesel para o cultivo da soja.....	174
Tabela A.126 - Proporção entre soja produzida no RS e soja produzida no Brasil.....	174
Tabela A.127 - Estimativa de Soja processada para produção de farelo e óleo, no RS.....	175
Tabela A.128 - Emissões decorrentes do transporte da soja para processamento.....	175
Tabela A.129 - Emissões decorrentes do processamento de soja, por escopo, por ano.....	176
Tabela A.130 - Estimativa de Farelo destinado ao mercado interno do RS.....	176
Tabela A.131 - Emissões decorrentes do transporte do farelo para a produtora de ração.....	177
Tabela A.132 - Emissões da produção de ração proveniente da soja.....	177
Tabela A.133 - Emissões decorrentes do transporte da ração para os clientes.....	178
Tabela A.134 - Emissões decorrentes do transporte da soja para processamento.....	178
Tabela A.135 - Emissões associadas ao transporte de soja e derivados exportados (tCO ₂ e).....	180
Tabela A.136 - Emissões associadas ao transporte de soja e derivados importados (tCO ₂ e).....	181
Tabela A.137 - Remoções de ILPF associadas ao cultivo de soja no Estado (tCO ₂ e).....	181
Tabela A.138 - Remoções de PD e SPD associadas ao cultivo de soja no Estado (tCO ₂ e).....	182
Tabela A.139 - Proporção entre área de soja e área de agricultura e pastagem no Rio Grande do Sul.....	183
Tabela A.140 - Emissões/remoções associadas à mudança de uso da terra para soja em Mosaico de agricultura e pastagem (tCO ₂ e).....	184

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....20

2. METODOLOGIA.....22

3. COLETA DE DADOS E TEIA DE STAKEHOLDERS.....24

4. PREMISSAS E RESULTADOS POR CADEIA PRODUTIVA.....26

4.1. PETROQUÍMICA.....26

4.1.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva.....26

4.1.2. Recorte Metodológico para a Cadeia Produtiva.....28

4.1.3. Justificativas para Recorte Metodológico.....28

4.1.4. Resultados.....29

4.2. SILVICULTURA.....33

4.2.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva.....33

4.2.2. Recorte Metodológico para a Cadeia Produtiva.....34

4.2.3. Justificativas para Recorte Metodológico.....34

4.2.4. Resultados.....36

4.3. ARROZ.....44

4.3.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva.....44

4.3.2. Recorte Metodológico para a Cadeia Produtiva.....45

4.3.3. Justificativas para Recorte Metodológico.....46

4.3.4. Resultados.....46

4.4. PECUÁRIA.....60

4.4.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva.....60

4.4.2. Recorte Metodológico para a Cadeia Produtiva.....62

4.4.3. Justificativas para Recorte Metodológico.....63

4.4.4. Resultados.....63

4.4.4.1. Pastagens.....64

4.4.4.1.1. Abordagens em Construção associadas às pastagens.....65

4.4.4.2. Bovinos de Corte.....67

4.4.4.3. Bovinos Leiteiros.....69

4.4.4.4. Resultados Consolidados.....71

4.5. SOJA.....79

4.5.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva.....79

4.5.2. Recorte Metodológico para a Cadeia Produtiva.....80

4.5.3. Justificativas para Recorte Metodológico.....81

4.5.4. Resultados.....82

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....91

REFERÊNCIAS.....93

ANEXO A. PREMISSAS E METODOLOGIA DE CÁLCULO POR CADEIA PRODUTIVA.....101

A.1. PETROQUÍMICA.....101

A.1.1. Refinaria: Produção de Nafta e Propeno.....101

A.1.2. Transporte das Refinarias à Indústria de Petroquímicos Básicos (Indústrias de 1ª Geração).....103

A.1.3. Emissões da unidade de Petroquímicos Básicos (Indústria de Primeira Geração).....104

A.1.4. Emissões de transporte da indústria de petroquímicos básicos (1ª geração) para as indústrias de resinas e intermediários (2ª geração).....105

A.1.5. Emissões das indústrias de resinas e intermediários (Indústrias de Segunda Geração).....106

A.2. SILVICULTURA.....108

A.2.1. Florestas Plantadas.....108

A.2.1.1. Mudança de Uso da Terra.....108

A.2.1.2. Contribuição dos produtos florestais madeireiros.....110

A.2.1.3. Manejo Florestal.....115

A.2.1.4. Estoque de carbono das florestas plantadas do RS.....116

A.2.2. Uso de veículos no manejo florestal e transporte das madeiras até as fábricas e demais destinos.....117

A.2.3. Indústria de Celulose.....118

A.2.4. Transporte do papel e celulose.....119

A.2.5. Lenha para carvoejamento.....120

A.2.6. Lenha e carvão vegetal como insumo energético.....121

A.3. ARROZ.....123

A.3.1. Cultivo do Arroz.....123

A.3.1.1. Emissões diretas de CH₄.....123

A.3.1.2. Combustão móvel.....129

A.3.1.3. Consumo de Energia Elétrica na Irrigação.....130

A.3.2. Solos Manejados.....132

A.3.2.1. Aplicação da Ureia.....132

A.3.2.2. Aplicação de fertilizante nitrogenado (emissões diretas).....132

A.3.2.3. Aplicação de fertilizante nitrogenado (emissões indiretas).....133

A.3.2.4. Resíduos Agrícolas (emissões diretas).....134

A.3.2.5. Resíduos Agrícolas (emissões indiretas).....138

A.3.3. Mudança de Uso da Terra.....139

A.3.4. Transporte do Arroz.....141

A.3.4.1. Transporte rodoviário.....141

A.3.5. Beneficiamento.....145

A.3.5.1. Processo de beneficiamento.....145

A.4. PECUÁRIA.....146

A.4.1. Mudanças do Uso da Terra.....146

A.4.2. Calagem e fertilização das pastagens.....147

A.4.3. Produção de ração.....149

A.4.4. Resíduos Agrícolas das Pastagens.....151

A.4.5. Criação dos Bovinos de Corte e Leiteiros.....152

A.4.6. Movimentação de Bovinos Vivos.....155

A.4.7. Abate dos animais para a produção de carne.....159

A.4.8. Transporte de carne para o consumidor.....160

A.4.9. Transporte de leite para a indústria.....161

A.4.10. Produção de laticínios e derivados.....162

A.4.11. Transporte de laticínios para o consumidor.....164

A.4.12. Abordagens em Construção.....165

A.4.12.1. Emissões e Remoções associadas à Mudança do Uso Terra.....165

A.4.12.2. Cobertura do solo.....167

A.4.12.3. Remoções associadas à Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).....168

A.4.12.4. Queima das áreas de Pastagem.....169

A.5. SOJA.....170

A.5.1. Mudanças do Uso da Terra.....170

A.5.2. Calagem e fertilização no cultivo da soja.....171

A.5.3. Resíduos agrícolas.....172

A.5.4. Diesel utilizado no cultivo da soja.....173

A.5.5. Transporte da soja para o processamento.....174

A.5.6. Processamento da soja para produção de farelo, óleo e biodiesel.....175

A.5.7. Transporte do farelo para a produção de ração.....176

A.5.8. Produção de ração.....177

A.5.9. Transporte da ração para o cliente.....178

A.5.10. Transporte do Biodiesel.....178

A.5.11. Transporte da soja e derivados (importados e exportados).....179

A.5.12. Abordagens em construção.....181

A.5.12.1. Remoções associadas à integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).....181

A.5.12.2. Sistema de Plantio.....182

A.5.12.3. Emissões e Remoções associadas à Mudança do Uso da Terra.....183



SOBRE O ICLEI

O **ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade** é uma rede global de mais de 2.500 governos locais e regionais comprometida com o desenvolvimento urbano sustentável. Ativos em mais de 130 países, influenciando as políticas de sustentabilidade e impulsionamos a ação local para um desenvolvimento urbano sustentável de zero carbono, baseado na natureza, equitativo, resiliente e circular, promovendo mudanças sistêmicas.

Nossa Rede e equipe de especialistas trabalham juntos oferecendo acesso a conhecimento, parcerias e capacitações para gerar mudanças sistêmicas. Fundado em 1990 e com mandato para atuar como ponto focal da Constituency de Governos Locais e Autoridades Municipais (LGMA) nas COPs sobre Clima, Biodiversidade e Desertificação, o ICLEI dá voz aos governos locais em encontros internacionais e articula a implementação da cooperação internacional com os governos locais.

Com atuação na América Latina desde 1994, o ICLEI América do Sul conecta seus 157 associados



em 8 países a este movimento global, com três escritórios nacionais estabelecidos no Brasil, Colômbia e Argentina. Na região, buscamos promover as seguintes estratégias aos governos locais associados:

1. **ACESSO A INFORMAÇÕES SOBRE ACORDOS INTERNACIONAIS; VISIBILIDADE E POSICIONAMENTO NOS DEBATES INTERNACIONAIS;**
2. **OPORTUNIDADES DE INTERCÂMBIO TÉCNICO E TROCA DE EXPERIÊNCIAS; E**
3. **ACESSO ÀS METODOLOGIAS INOVADORAS DISPONÍVEIS NO PORTFÓLIO DE SOLUÇÕES.**

Dessa forma, o ICLEI América do Sul busca fortalecer a capacidade de seus membros em desenvolver e aplicar políticas públicas, contribuindo para tornar as cidades mais resilientes, sustentáveis e alinhadas aos compromissos climáticos globais.

SOBRE A ECOFINANCE NEGÓCIOS

A **Ecofinance Negócios** atua desde 2007 oferecendo assessoria especializada a empresas e governos no enfrentamento das mudanças climáticas. Seus serviços incluem a elaboração de inventários de emissões de gases de efeito estufa, negociação de créditos de carbono, desenvolvimento de estratégias net zero, neutralização de emissões e consultoria em ESG. Ao longo de sua trajetória, a Ecofinance já negociou

mais de 15 milhões de créditos de carbono, elaborou mais de 300 inventários de emissões de GEE e prestou suporte a mais de 200 empreendimentos do setor de energia. Todas as atividades seguem as melhores práticas e metodologias reconhecidas nacional e internacionalmente, contribuindo para a descarbonização e a transição sustentável de organizações em diferentes setores econômicos.

SOBRE A WYSE CONEXÃO

A **Wyse** é uma consultoria sediada em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, especializada em governança, gestão de projetos e comunicação estratégica. Sua atuação concentra-se na articulação entre planejamento técnico, coordenação institucional e mobilização multissetorial, apoiando instituições, empresas e territórios na estruturação de iniciativas voltadas ao desenvolvimento, inovação e sustentabilidade.

No âmbito deste projeto, a Wyse atuou como parceira do ICLEI América do Sul no processo

de Conformidade Climática Completa do Estado do Rio Grande do Sul, apoiando a identificação e priorização das cadeias produtivas, a mobilização de setores econômicos e entidades representativas e a sistematização de contribuições técnicas para o Plano Local de Ação Climática. Entre os projetos desenvolvidos em parceria com o ICLEI, destacam-se também iniciativas de governança e planejamento climático conduzidas nos municípios de Canoas, São Sepé, Santiago e Salvador.

PRÓLOGO

O desafio que a emergência climática impõe aos governos do mundo inteiro requer a aplicação de todos os esforços disponíveis para mitigar as contribuições humanas na dinâmica do clima global e promover a adaptação dos territórios aos cenários futuros que estão previstos. O caso do Rio Grande do Sul constitui um exemplo concreto do desafio que se impõe ao planejamento e execução, de maneira concomitante, das ações para o enfrentamento dos impactos adversos dos eventos climáticos extremos. Por estar situado em uma das regiões mais sensíveis do Planeta, o estado tem a necessidade de agir na prática para promover a adaptação climática, olhando para o futuro com planos de ações estruturantes e estruturadas.

Ao entregar para a sociedade gaúcha a Conformidade Climática do RS e todos os estudos que a compõem, o Governo do Estado disponibiliza uma ferramenta estratégica e norteadora das ações no território para os próximos vinte e cinco anos. A Conformidade Climática organiza e sistematiza iniciativas e objetivos com metas concretas e factíveis, desenvolvidas com base em

ciência, que indicam o caminho para alcançar a mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa, a adaptação e a resiliência climática. Constitui um instrumento que orienta a maneira como o Estado deve agir para contribuir com as metas globais e reforça o compromisso comum de todas as partes, promovendo um ambiente mais equilibrado, sustentável e adaptado às necessidades das futuras gerações e do meio em que vivemos.

Com a entrega da Conformidade Climática, o Rio Grande do Sul dispõe de mais um Plano de Estado que dialoga com as ações estruturantes desenvolvidas ao longo dos últimos anos, tendo como objetivos principais a promoção do desenvolvimento socioeconômico em consonância com a necessidade imposta pelas mudanças climáticas e os efeitos adversos deste processo no território. É ao mesmo tempo o encerramento e a abertura de um ciclo que se renova com os desafios que se impõem e a necessidade permanente que a humanidade enfrenta de repensar suas ações olhando para um futuro mais sustentável e resiliente.



Marjorie Kauffmann
Secretária – Conformidade Climática RS
Governo do Estado do Rio Grande do Sul

PREFÁCIO

A mitigação das mudanças climáticas exige que territórios e setores produtivos assumam papel central na construção de trajetórias de desenvolvimento de baixo carbono. Nesse contexto, conhecer com precisão a origem e a intensidade das emissões torna-se condição indispensável para orientar políticas públicas, investimentos e estratégias de descarbonização. É sob essa perspectiva que apresentamos o Mapeamento de Emissões de Gases de Efeito Estufa das Principais Cadeias Produtivas do Rio Grande do Sul.

Este documento traduz a complexidade econômica, industrial e agropecuária do estado em dados científicos, territorializados e setoriais. O estudo oferece uma leitura qualificada das emissões associadas a cinco matrizes fundamentais: Petroquímica, Silvicultura, Soja, Arroz e Pecuária Bovina (corte e leite). Ao identificar os principais vetores de emissão ao longo dessas cadeias, superam-se abordagens genéricas para avançar em uma agenda de mitigação baseada em evidências concretas.

Métricas confiáveis são fundamentais para estabelecer metas consistentes, monitorar avanços

e atrair investimentos voltados à transição climática. A qualidade técnica deste mapeamento fortalece a segurança institucional e amplia o engajamento do setor produtivo, da academia e da sociedade civil. Mais do que um retrato atual, as informações aqui sistematizadas servirão de base para a formulação de políticas públicas, mecanismos de financiamento climático e programas de inovação tecnológica.

Este mapeamento integra o processo de Conformidade Climática do estado, conduzido em parceria com o ICLEI. A iniciativa instituiu uma estrutura de governança inovadora e produziu o Inventário de GEE do estado, as Estratégias de Descarbonização das Cadeias Produtivas e a Análise de Risco e Vulnerabilidade Climática. Todos estes estudos subsidiarão o Plano de Ação Climática e a respectiva atualização da normativa climática vigente.

O documento representa, portanto, um marco técnico e político na construção de uma agenda orientada à mitigação, consolidando o compromisso do Rio Grande do Sul com a transição para uma economia resiliente, eficiente e de baixo carbono.



Rodrigo Perpétuo
Secretário Executivo
ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

Capítulo 01

CONTEXTUALIZAÇÃO

O inventário de emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) é o passo inicial para a elaboração de estratégias de descarbonização no setor produtivo. É o diagnóstico que aponta quais fontes de emissões de GEE são as mais relevantes e onde o esforço de mitigação de emissões deve ser empreendido.

Em uma iniciativa inovadora, em paralelo ao inventário de emissões e remoções do estado do Rio Grande do Sul (RS), cinco cadeias produtivas foram escolhidas pelo Governo do Estado para uma análise específica das emissões e remoções presentes em suas atividades: a Petroquímica, a Silvicultura, a Soja, o Arroz e a Pecuária Bovina (de corte e leiteira).

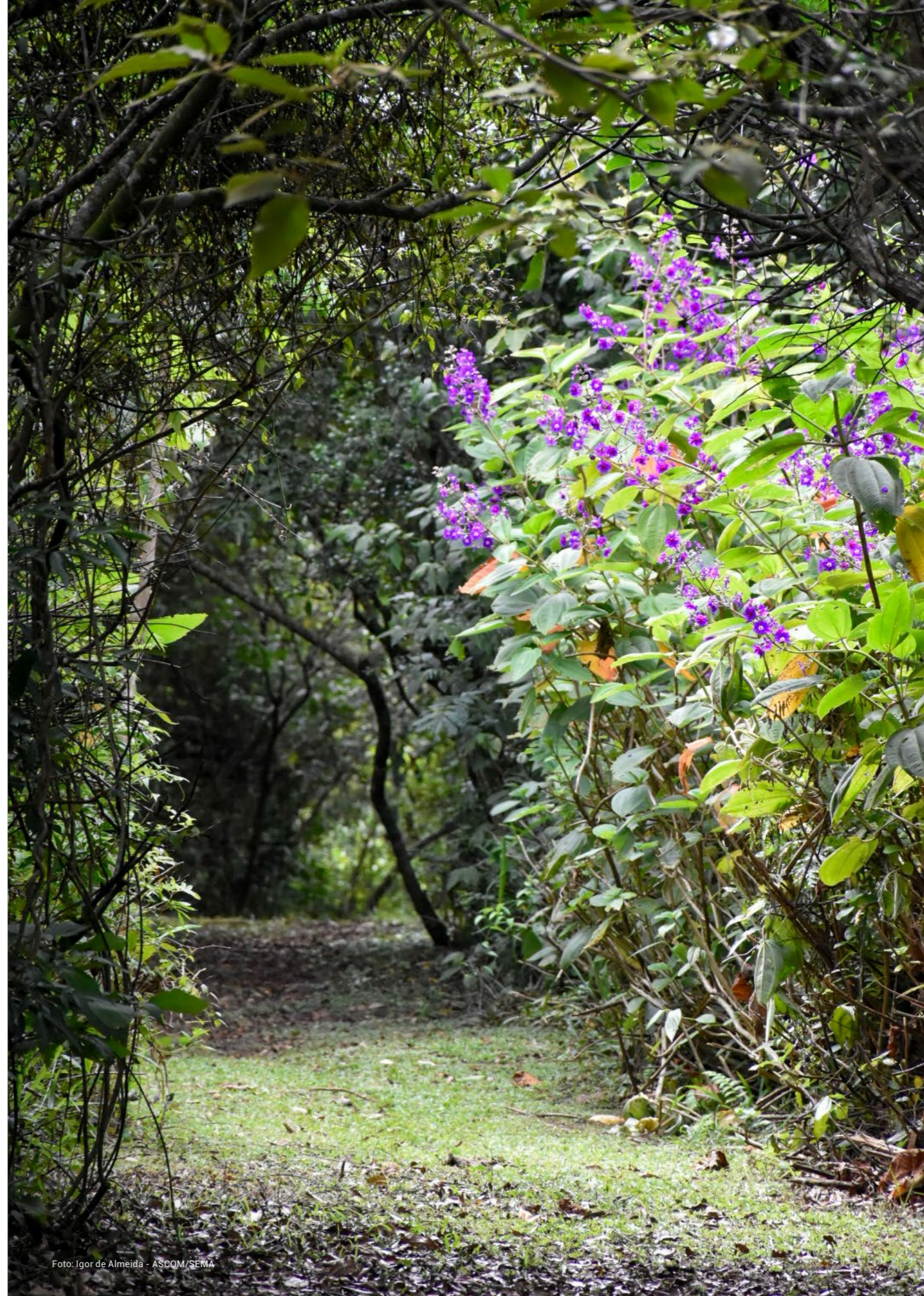
Todas as cadeias apresentam grande relevância econômica e social para o estado. Elas estão presentes no Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável do Estado como setores prioritários que fazem parte da sustentação econômica do RS, com grandes perspectivas futuras de ascensão e inovação, diante de suas vantagens comparativas nos cenários nacional e internacional.

São também cadeias que já enfrentam o cenário desafiador imposto pelas mudanças do clima: mudanças de padrão médio de temperatura; eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e enchentes, políticas públicas nacionais e

internacionais restritivas em relação às emissões de GEE, dentre outros impactos, que exigem adaptação e estratégia em prol da descarbonização.

Nesse contexto, este relatório apresenta uma avaliação das emissões e remoções das cadeias produtivas petroquímica, silvicultura, arroz, soja e pecuária para os anos compreendidos no período de 2018 a 2023. Os resultados do trabalho servirão de subsídio para a elaboração de um roteiro de descarbonização das cadeias que indicará não só ações de mitigação, como também necessidades de gestão de dados e informações necessárias para futuras estimativas dessas cadeias e de outros setores econômicos do estado.

O relatório apresenta a seguinte estrutura: apresentação da metodologia de trabalho e da estratégia de coleta de dados adotadas, seguidas da apresentação, para cada uma das cadeias produtivas, do contexto e caracterização, recorte metodológico e dos resultados apurados. Para este último tópico, são apresentadas a caracterização das respectivas cadeias, seguidas da justificativa circunstanciada para o recorte metodológico adotado, e os resultados de emissões e remoções apurados. As premissas, a metodologia de cálculo por cadeia produtiva e as limitações do método são apresentadas no Anexo A do relatório.



Capítulo 02

METODOLOGIA



Foto: Tamires Tuliszewski - ASCOM/SEMA

O trabalho foi desenvolvido levando em consideração metodologias e referências internacionais e nacionais relevantes para a elaboração de inventários de emissões e remoções.

As diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para Inventários Nacionais (2006; 2019) foram utilizadas como referências para equações de cálculo de emissões.

A metodologia GHG Protocol e seus guias orientativos (Corporate Value Chain [Scope 3] Standard; GHG Protocol Scope 2 Guidance; Land Sector and Removal Guidance; GHG Protocol Agricultural Guidance) foram também metodologias adotadas. As orientações, ferramentas e notas técnicas específicas do Programa Brasileiro GHG Protocol foram referências importantes para a elaboração do trabalho.

A metodologia GHG Protocol é a referência global para inventários de emissões corporativos, classificando as emissões por categorias dentro de três escopos: escopo 01, que contabiliza as emissões diretas; escopo 02, para as emissões associadas ao consumo e perdas de energia elétrica e térmica e escopo 03 para as emissões indiretas do negócio. Ela foi utilizada para o mapeamento das atividades inseridas em cada cadeia. Além disso, para as cadeias produtivas petroquímica, silvicultura e soja, obteve-se diretamente o inventário de emissões de GEE desenvolvidas pelas empresas do setor.

As metodologias ISO 14064-1: 2018 e ISO 14.067: 2018 serviram também de referência para a definição das fontes de emissões a serem consideradas.

Metodologias desenvolvidas pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de

Efeito Estufa (SEEG) para estimar emissões e remoções não contabilizadas no inventário nacional (NCI) foram utilizadas, mas consideradas em separado, em uma seção denominada abordagens em construção. O SEEG é uma iniciativa do Observatório do Clima, rede com mais de cem organizações da sociedade civil. Ele é uma plataforma de monitoramento de emissões de GEE que fornece estimativas anuais para todos os setores da economia.

No que tange aos fatores de emissão e remoção, buscou-se sempre que possível, utilizar fatores de emissão que reflitam a realidade regional e nacional, exceto quando não disponíveis nas metodologias de referência e na literatura, circunstâncias em que foram adotados fatores de emissão globais.

Nesse sentido, foram utilizados como referência para os fatores de emissão: o Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções; o Programa GHG Protocol Brasil; as orientações e ferramentas do GHG Protocol Agricultura; a metodologia do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e a base de dados do software Ecoinvent v3.11.

A metodologia de cálculo das emissões e as premissas adotadas para cada cadeia produtiva

são apresentadas detalhadamente, por cadeia, no Anexo A do presente relatório. Importante ressaltar que buscou-se mapear as emissões das cadeias produtivas que ocorrem nos limites geográficos do estado do RS.

A única fonte de emissão indireta considerada nas estimativas foi a associada ao consumo de energia elétrica proveniente do Sistema Interligado Nacional. Esta escolha se justifica pela incerteza quanto à localidade de geração de energia e pela possibilidade de os atores da cadeia produtiva influenciarem o suprimento energético renovável como alternativa de mitigação.

Por conseguinte, demais atividades diretas ou indiretas relacionadas às cadeias produtivas que ocorrem fora dos limites geográficos do estado do RS não foram consideradas, em que pese a influência direta e/ou indireta da cadeia sobre aquela fonte de emissão.

A coleta dos dados de atividade de cada cadeia representou o maior desafio do trabalho, como é usual em processos de inventários de emissões e remoções. A seção a seguir apresenta uma breve descrição do processo de coleta.

Capítulo 03

COLETA DE DADOS E TEIA DE STAKEHOLDERS



Foto: ASCOM/SEMA

A coleta dos dados necessários aos cálculos de emissões e remoções das cadeias produtivas ocorreu entre dezembro/2024 e abril/2025. Tendo como ponto focal a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA-RS), foram enviados ofícios e coordenadas reuniões de trabalho com as secretarias de governo, entidades e associações setoriais representativas, universidades e órgãos de pesquisa e empresas dos setores envolvidos. Diversas reuniões foram realizadas com essas instituições no período, além de contatos através de e-mails, ligações telefônicas e mensagens de aplicativos de mensagens instantâneas.

Em várias das reuniões, mais de um stakeholder local esteve envolvido. Um grande esforço foi realizado no sentido de assegurar que fossem contatados e ouvidos todos os atores locais identificados como importantes no processo de coleta de dados.

A teia de stakeholders (Figura 1) apresenta as instituições que de alguma forma participaram e contribuíram com o processo de coleta de dados. A origem dos dados utilizados para cada cadeia produtiva, bem como sua classificação são apresentadas com detalhes, por cadeia, no Anexo A do relatório.

Diversos dados primários foram obtidos com as secretarias e entidades do Governo do Estado do Rio Grande do Sul, com as entidades setoriais e com empresas da cadeia. Relatórios públicos de empresas atuantes nas cadeias, bem como respostas fornecidas pelas próprias empresas aos ofícios enviados pela SEMA-RS foram também incorporados. Dados secundários de fontes reconhecidas, como IBGE, Embrapa, FGV foram também utilizados.

As seguintes classificações foram adotadas para os dados de input para a estimativa de emissões de GEE:

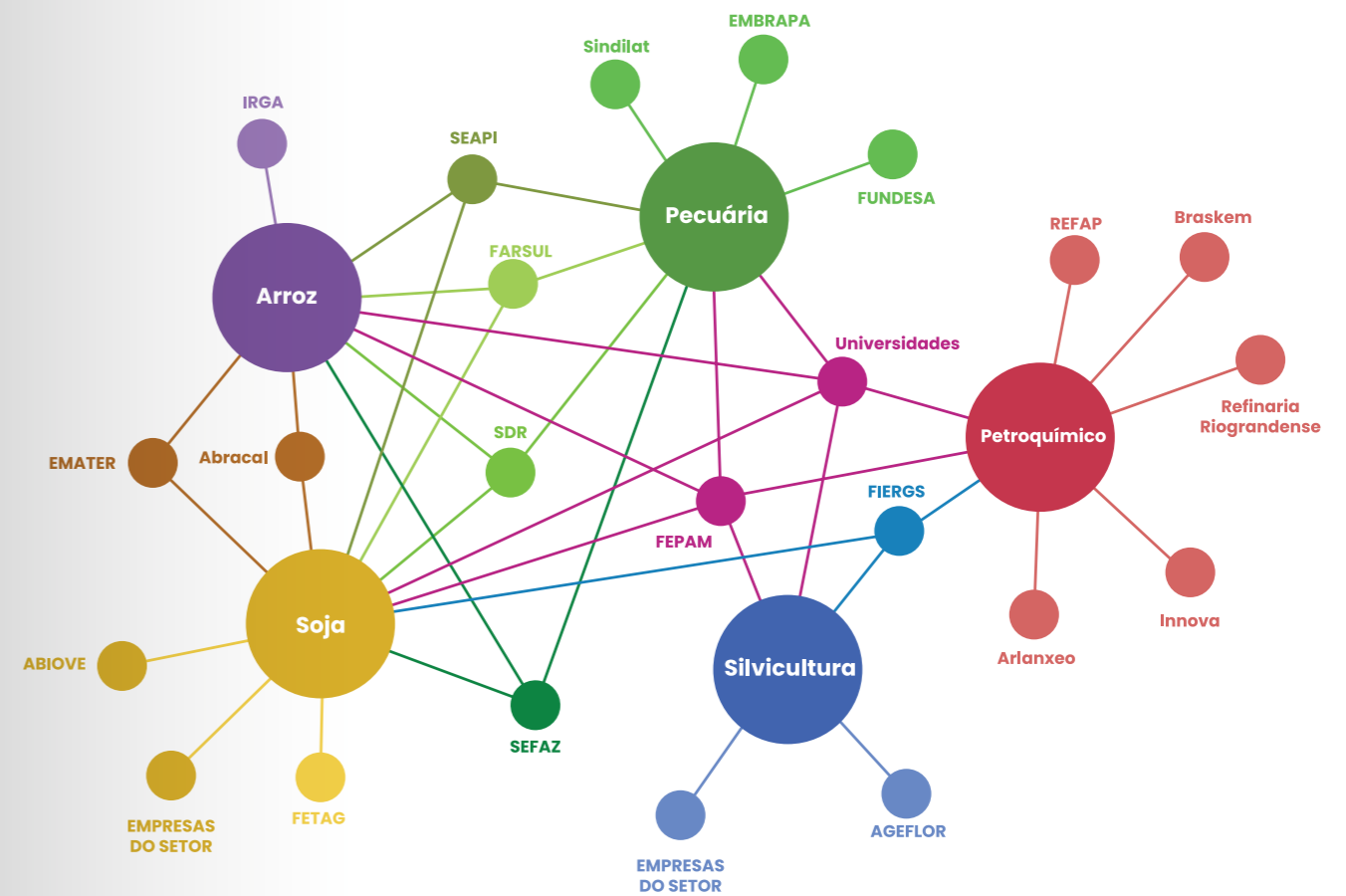
- Dados primários: dados coletados diretamente junto às secretarias, instituições/associações representativas do setor e/ou empresa atuante na cadeia;
- Dados secundários: dados obtidos a partir de relatórios e/ou informações de fontes reconhecidas.
- Dados estimados: dados estimados a partir de referências setoriais, regionais, nacionais ou internacionais.

Como esperado, a obtenção dos dados de atividade das cadeias produtivas constituiu o maior

desafio do trabalho. A busca por dados precisos que refletissem a realidade das práticas locais de cada cadeia produtiva foi levada ao extremo pela equipe executora do trabalho.

As dificuldades não se deram por falta de engajamento dos stakeholders locais na busca pela informação. A ausência de controle de dados importantes para uma estimativa mais precisa de emissões, a falta de sistematização desses dados ou a pulverização de informações em diversas instituições foram obstáculos encarados pela equipe executora e pela SEMA-RS. Em alguns casos, esses obstáculos foram superados. Em outros, limitaram a abrangência das atividades consideradas na estimativa de emissões e remoções das cadeias produtivas.

Figura 1: Teia de stakeholders que contribuíram com a coleta de dados do mapeamento das emissões e remoções das cadeias produtivas



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Capítulo 04

RESULTADOS POR CADEIA PRODUTIVA

4.1. PETROQUÍMICA

4.1.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva

O Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável, publicado pelo estado do Rio Grande do Sul em 2024, considera a cadeia petroquímica como prioritária ao desenvolvimento do estado, classificando-a como relevante para a sustentação econômica estadual e com oportunidades de ascensão e inovação (Rio Grande do Sul, 2024d). Em 2024, os polímeros de etileno, em formas primárias, estavam entre os 10 principais produtos exportados pelo RS, totalizando US\$ 589,9 milhões (2,7% das exportações do estado), de acordo com a Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão do RS (Rio Grande do Sul, 2025n).

Políticas públicas nacionais e internacionais, como o Plano Setorial de Mitigação da Política Nacional de Mudanças Climáticas – PNMC (Lei 12.187/2009), o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) (Lei 15.042/2024) e o CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) apontam para medidas restritivas de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) ao setor, tanto no mercado interno, quanto no mercado externo.

Diante da grande relevância da cadeia petroquímica para o estado e das políticas públicas existentes, conhecer as emissões de GEE e traçar um roteiro para a descarbonização do setor surge como uma estratégia essencial para promover a sustentabilidade econômica e ambiental.

A cadeia de produção petroquímica é geralmente organizada em etapas, com produtos de primeira

(Petroquímicos Básicos), segunda (Resinas e Intermediários) e terceira geração (Transformadores), a partir da transformação de diferentes matérias-primas e insumos petroquímicos em bens e produtos. O processo tem início com a extração do petróleo, seguindo até a refinaria, onde são realizados os procedimentos de transformação dos subprodutos provenientes do refino do petróleo, com destaque para a nafta e o propeno.

Não há, até o momento, atividades de extração de petróleo no estado do Rio Grande do Sul. Contudo, o estado possui uma trajetória relevante no setor de refino de petróleo, com duas refinarias que processam petróleo de origem nacional e importada: a refinaria de Petróleo Riograndense (RPR) e a Refinaria Alberto Pasqualini (Refap), ambas com importâncias distintas. A RPR, primeira refinaria de petróleo do Brasil, foi inaugurada em 1937 e a Refap, inaugurada em 1968, é responsável por 9,1% da capacidade de refino do Brasil, sendo a quinta maior refinaria do país. Em conjunto, as duas refinarias respondem por 9,8% da capacidade de refino de petróleo nacional. Entre 2018 e 2023, a produção de derivados refinados de petróleo cresceu 9,8% (de 57,6 milhões barris/dia para 61,3 milhões barris/dia) (Rio Grande do Sul, 2024a).

Os subprodutos provenientes do refino do petróleo passam por uma série de etapas de processamentos, nas centrais petroquímicas, que visam aprimorar suas características e torná-los adequados para usos industriais e comerciais, sendo estas as indústrias de primeira, segunda e terceira geração.

As indústrias de primeira geração convertem insumos, em especial a nafta, em olefinas (como eteno, propeno e butadieno) e aromáticos (como benzeno). Os produtos da primeira geração são transportados para as indústrias de segunda geração, que os transformam em resinas ou produtos intermediários, como polietileno e etilbenzeno. As indústrias de terceira geração transformam os produtos intermediários em produtos acabados, como embalagens, componentes para construção civil, filmes plásticos e autopeças.

O Polo Petroquímico de Triunfo, no Rio Grande do Sul, em operação desde 1982, é o terceiro maior complexo petroquímico do Brasil, empregando atualmente 6.300 pessoas. O polo é composto por seis empresas – Arlanxeo, Braskem, Innova, Indorama Ventures, que adquiriu as operações da Oxiten, White Martins e GS Inima Brasil (Polo, 2025).

A implementação do complexo impulsionou o desenvolvimento da região, gerando milhares de oportunidades de empregos diretos e indiretos e promovendo um crescimento econômico expressivo.

A GS Inima Brasil opera a Distribuidora de Águas Triunfo, responsável por todo o sistema de captação e tratamento da água que abastece as empresas do Polo. A White Martins participa do processo produtivo através do fornecimento, principalmente, de nitrogênio gás para inertização de equipamentos e processos.

As outras quatro empresas (Arlanxeo, Braskem, Innova, Indorama Ventures/ Oxiten) são indústrias que operam as transformações petroquímicas. Dessa forma, as seguintes empresas atuam na cadeia petroquímica do estado do Rio Grande do Sul:

- Refinarias: Refap e Riograndense;
- Petroquímicos básicos (1ª Geração): Braskem;
- Resinas e Intermediários (2ª Geração): Braskem, Arlanxeo, Innova e Indorama Ventures/ Oxiten;
- Transformadores (3ª Geração): Diversas organizações.

A Figura 2 demonstra a cadeia petroquímica do estado.

Figura 2: Cadeia petroquímica do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.1.2. Recorte Metodológico para a Cadeia Produtiva

Para a contabilização das emissões de GEE da cadeia petroquímica, o seguinte recorte foi adotado:

- Produção do Nafta e Propeno fornecidos ao Polo (Refap e Riograndense);
- Transporte do Nafta e Propeno das refinarias até a indústria de Petroquímicos básicos;
- Produção de petroquímicos básicos (1ª geração);
- Transporte de produtos da indústria de primeira geração para a indústria de segunda geração;
- Produção de resinas e intermediários (2ª geração).

A Figura 3 apresenta o recorte para contabilização das emissões de GEE da cadeia petroquímica.

4.1.3. Justificativas para Recorte Metodológico

Não foi possível realizar as estimativas de emissões de transporte das indústrias de segunda geração aos Transformadores. As empresas que realizam o controle dessas informações afirmaram

possuir apenas dados consolidados para sua operação nacional, não sendo possível estratificar as informações para sua operação no estado do Rio Grande do Sul.

A 3ª geração apresenta relevante pulverização de empresas, dificultando a viabilidade de coleta de dados. A SEMA-RS, a FEPAM-RS e as empresas do setor foram consultadas para avaliação da possibilidade de coleta de dados para a estimativa das emissões das empresas de produção de resinas e intermediários no estado. Buscou-se também conhecer o método de cálculo praticado por duas empresas de segunda geração para a categoria de "processamento de produtos vendidos" para avaliar a viabilidade de inclusão da 3ª geração no recorte metodológico. Contudo, as informações disponíveis não foram suficientes para permitir as estimativas.

As premissas, dados coletados e metodologia de cálculo aplicadas à cadeia petroquímica são apresentadas no Anexo A.

4.1.4. Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados consolidados por etapa da cadeia produtiva petroquímica. Há uma concentração de emissões na indústria de petroquímicos básicos, que responde por uma faixa de 85% a 93% de todas as emissões da cadeia na série histórica analisada. As altas emissões associadas a essa etapa estão relacionadas à combustão estacionária de combustíveis fósseis.

Nas indústrias de segunda geração, há uma maior concentração de emissões relacionadas ao consumo de energia elétrica, variando de 63% a 80% das emissões dessa etapa da cadeia na série histórica.

O transporte da refinaria ao polo e da indústria de petroquímicos básicos às indústrias de segunda

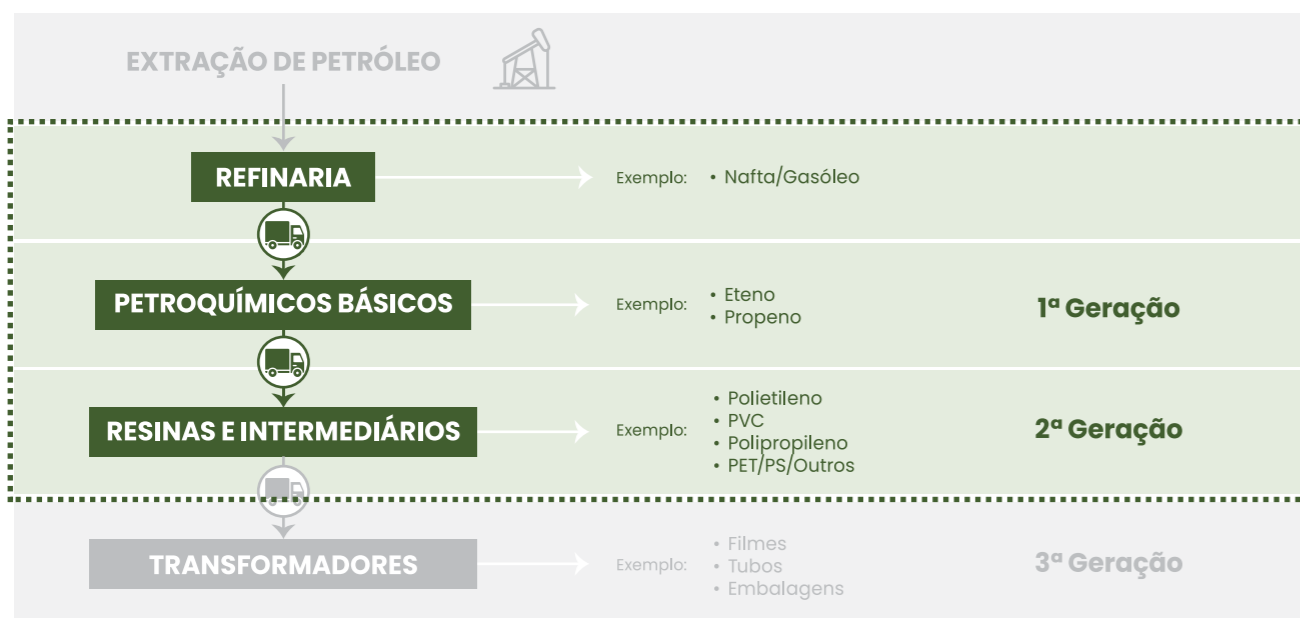
geração são realizados via barcaça e dutos, com menor representatividade nas emissões (menos que 0,001% das emissões totais).

As emissões da etapa de refino consideram apenas a parcela de produção associada aos insumos (nafta e propeno) que serão consumidos no Polo. No caso da nafta e propeno fornecido pela Refap, há uma estimativa conservadora, uma vez que todas as emissões diretas associadas ao processo de produção foram alocadas na cadeia, mesmo que toda a produção não se direcione ao Polo Petroquímico de Triunfo. No caso da Refinaria Riograndense, apenas a parcela de emissões associada à produção de Nafta fornecida ao Polo foi considerada.

Tabela 1: Emissões (tCO₂e) da cadeia Petroquímica entre 2018 e 2023

Etapas da Cadeia	2018	%	2019	%	2020	%
Refino de Petróleo	13.286,7	0,4%	14.926,0	0,5%	44.174,7	1,4%
Emissões diretas das empresas	13.286,7	0,4%	14.926,0	0,5%	44.174,7	1,4%
Transporte Refinaria - Polo	7,5	0,0%	8,6	0,0%	21,3	0,0%
Transporte por dutos	7,5	0,0%	8,6	0,0%	21,3	0,0%
Transporte via Barcaça	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%
Indústria de 1ª Geração	2.915.037,1	88,5%	2.792.350,6	89,1%	2.769.651,5	88,6%
Emissões diretas das empresas	2.904.975,6	88,2%	2.785.393,0	88,9%	2.767.094,0	88,5%
Emissões associadas à aquisição de energia	10.061,5	0,3%	6.957,7	0,2%	2.557,5	0,1%
Indústria de 2ª Geração	366.968,5	11,1%	325.951,9	10,4%	313.072,4	10,0%
Emissões diretas das empresas	80.777,0	2,5%	64.640,7	2,1%	63.216,0	2,0%
Emissões associadas à aquisição de energia	286.191,4	8,7%	261.311,2	8,3%	249.856,3	8,0%
Total Geral	3.295.299,7	100%	3.133.237,1	100%	3.126.919,8	100%

Figura 3: Recorte para contabilização das emissões de GEE da cadeia petroquímica



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Etapas da Cadeia	2021	%	2022	%	2023	%
Refino de Petróleo	37.596,0	1,1%	30.765,8	1,0%	16.362,3	0,6%
Emissões diretas das empresas	37.596,0	1,1%	30.544,8	1,0%	15.921,7	0,6%
Transporte Refinaria - Polo	37,1	0,0%	21,4	0,0%	27,1	0,0%
Transporte por dutos	37,1	0,0%	10,2	0,0%	4,8	0,0%
Transporte via Barcaça	-	0,0%	11,2	0,0%	22,3	0,0%
Indústria de 1ª Geração	2.839.954,1	85,6%	2.763.496,4	87,9%	2.583.417,7	93,1%
Emissões diretas das empresas	2.824.646,1	85,2%	2.759.978,5	87,8%	2.578.211,7	93,0%
Emissões associadas à aquisição de energia	15.308,0	0,5%	3.517,9	0,1%	5.205,9	0,2%
Indústria de 2ª Geração	438.643,3	13,2%	350.535,2	11,1%	173.749,8	6,3%
Emissões diretas das empresas	88.501,0	2,7%	85.668,1	2,7%	64.395,0	2,3%
Emissões associadas à aquisição de energia	350.142,4	10,6%	264.867,1	8,4%	109.354,8	3,9%
Total Geral	3.316.230,5	100%	3.144.818,9	100%	2.773.556,8	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A Tabela 2 resume os resultados por etapa.

Tabela 2: **Resumo do resultado de Emissões (tCO₂e) da cadeia Petroquímica por etapa da cadeia entre 2018 e 2023**

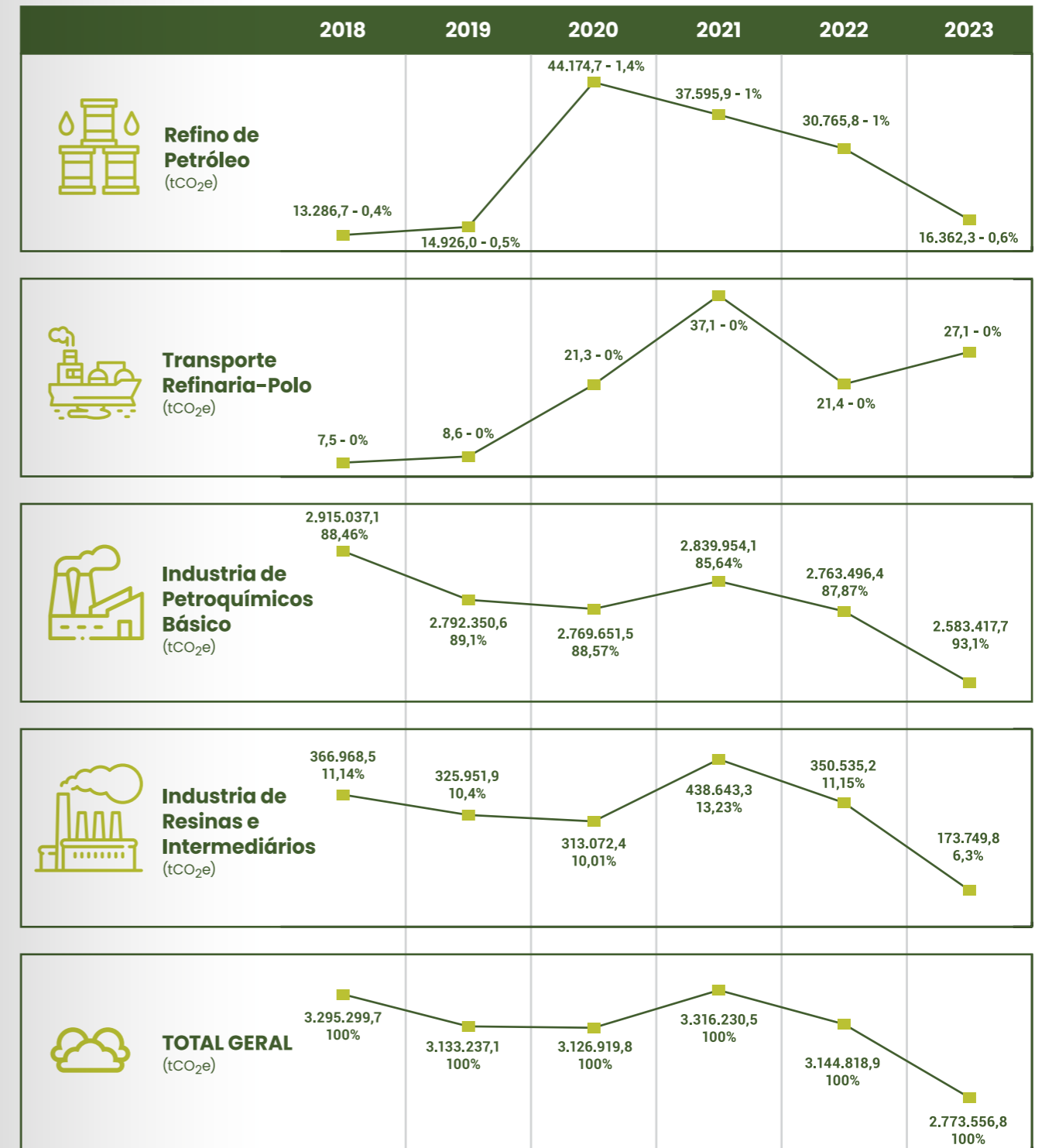
Etapas da Cadeia	2018	%	2019	%	2020	%
Refino de Petróleo	13.286,7	0,4%	14.926,0	0,5%	44.174,7	1,4%
Transporte Refinaria - Polo	7,5	0,00%	8,6	0,0%	21,3	0,00%
Indústria de 1ª Geração	2.915.037,1	88,46%	2.792.350,6	89,1%	2.769.651,5	88,57%
Indústria de 2ª Geração	366.968,5	11,14%	325.951,9	10,4%	313.072,4	10,01%
Total Geral	3.295.299,7	100%	3.133.237,1	100%	3.126.919,8	100%

Etapas da Cadeia	2021	%	2022	%	2023	%
Refino de Petróleo	37.596,0	1%	30.765,8	1,0%	16.362,3	0,59%
Transporte Refinaria - Polo	37,1	0,00%	21,4	0,00%	27,1	0,00%
Indústria de 1ª Geração	2.839.954,1	85,64%	2.763.496,4	87,87%	2.583.417,7	93,14%
Indústria de 2ª Geração	438.643,3	13,23%	350.535,2	11,15%	173.749,8	6,26%
Total Geral	3.316.230,5	100%	3.144.818,9	100%	2.773.556,8	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A Figura 4 consolida de forma gráfica as emissões por etapa da cadeia produtiva petroquímica ano a ano no período de análise:

Figura 4: **Emissões ano a ano por etapa da cadeia petroquímica (tCO₂e/%)**



Fonte: Elaboração própria, 2025.

■ Emissão líquida de GEE

Entre 2018 e 2023, as emissões da cadeia petroquímica apresentaram uma queda de 15,8% nas emissões de GEE (-521 mil tCO₂e). Essa queda está concentrada principalmente na redução na indústria de primeira geração (-331 mil tCO₂e), e nas indústrias da segunda geração (-193 mil tCO₂e).

Na indústria de primeira geração, a redução das emissões está relacionada a dois fatores:

- A implementação de projetos de energia renovável e eficiência energética, reduzindo a demanda por combustíveis fósseis para os processos de craqueamento;
- O ciclo de baixa da indústria petroquímica, que ocasionou em uma menor taxa de utilização dos crackers.

Por outro lado, na indústria de segunda geração, houve uma redução de 99,1% nas emissões de escopo 2 de uma das empresas do Polo de Triunfo (-212 mil tCO₂e), devido à substituição de energia fóssil externa por fontes renováveis, e a eliminação de vapores gerados a partir da queima de combustíveis fósseis.

Apesar da tendência decrescente de emissões na cadeia petroquímica, houve um pico de emissões no ano de 2021 para as indústrias de primeira e segunda geração. Esse pico é explicado pelo aumento de 105% no fator de emissão do SIN, além de um aumento de 154% na demanda energética das plantas de uma das empresas do Polo.



Foto: Governo do Estado do Rio Grande do Sul

4.2. SILVICULTURA

4.2.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva

O Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável publicado pelo Estado do Rio Grande do Sul considera a cadeia da Silvicultura, Papel e Celulose prioritária ao desenvolvimento do estado, onde a celulose já se configura como um pilar de sustentação econômica e com perspectivas de diversificação com vantagens competitivas e possibilidade de avanços a partir de tendências globais disruptivas.

O setor de papel e celulose, particularmente, é objeto do Plano Setorial de Mitigação pela Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) (Lei 12.187/2009) e possivelmente estará exposto às obrigações impostas pelo Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) (Lei 15.042/2024). Além disso, sofre exigências no âmbito de políticas ambientais internacionais, como a Regulation EU 2023/1115 Deforestation-Free Products (EUDR).

O Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Brasil, 2020a) aponta que, considerando o balanço entre as remoções das florestas plantadas e as emissões associadas ao uso e fim de vida dos produtos, os produtos florestais madeireiros removeram 50,7 milhões tCO₂e, em 2016. Essas remoções são fontes fundamentais para a busca pela neutralidade climática no país.

Dada a relevância da silvicultura para o estado, as políticas públicas implementadas e a presença do setor em políticas públicas nacionais e internacionais relacionadas à agenda climática, torna-se fundamental reconhecer as emissões e remoções de GEE e elaborar um plano de descarbonização para o setor.

Segundo a Associação Gaúcha de Empresas Florestais (Ageflor), no estado, são cultivados três principais gêneros florestais – Eucalyptus spp., Pinus spp. e Acacia spp. – para abastecer diferentes segmentos da cadeia produtiva de base florestal (Ageflor, 2025). Historicamente, o eucalipto é a principal espécie plantada no Estado. Em 2014, a área

plantada era de 309 mil hectares, aumentando para 617 mil hectares em 2023. A área de pinus cresceu 55% neste mesmo período, enquanto a de acácia-negra diminuiu 36% (Ageflor, 2025).

Com relação à sua representatividade nacional, o Rio Grande do Sul correspondia a 9,5% da área total de cultivo florestal no Brasil em 2023 (Ageflor, 2025). O estado possuía em 2023, aproximadamente, 5,1 milhões de hectares de florestas naturais e 7 milhões de vegetações arbustivas e herbáceas, enquanto as plantações florestais abarcavam uma área de 974 mil hectares no mesmo ano (Ageflor, 2025).

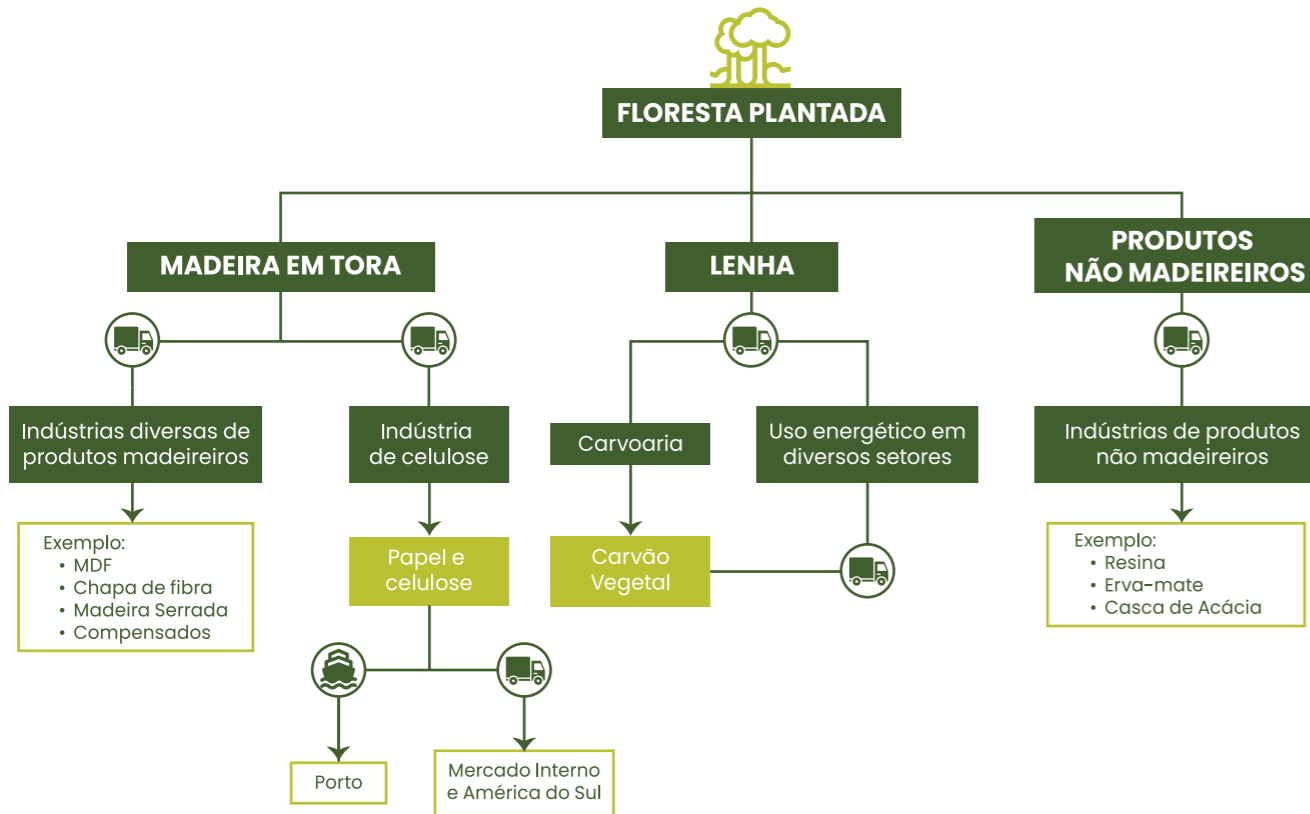
A silvicultura vem demonstrando crescimento na participação do Valor Bruto das Produções Agropecuárias do estado, mesmo com oscilações durante o período pandêmico. Em 2018, correspondia a 2,3% (R\$1,36 bilhões) e, em 2023, foi responsável por 4% (R\$3,78 bilhões) (Rio Grande do Sul, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023b, 2024e).

A madeira plantada e seus derivados são também importantes nas exportações estaduais. Apesar da celulose ser o principal produto do setor de silvicultura exportado pelo estado, chegando a ser responsável por 58,2% das exportações em 2024, a madeira e o papel também são produtos de grande relevância no setor (Ageflor, 2025). O principal parceiro comercial ao longo destes anos do Rio Grande do Sul foi a China, seguido pelos Estados Unidos e a Itália (Ageflor, 2025).

O setor de base florestal contribui também de forma significativa para a geração de empregos no estado. Segundo a Ageflor (2025), em 2023, a indústria de móveis (predominância madeira) contribuiu para a criação de 30.748 empregos, seguido pelos produtos de madeira (exceto móveis) com geração de 15.292 e a celulose, papel e produtos de papel que originou 11.958 vagas.

A cadeia produtiva da silvicultura do Rio Grande do Sul pode ser ilustrada na Figura 5.

Figura 5: Cadeia da Silvicultura do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.2.2. Recorte Metodológico para a Cadeia Produtiva

Devido à ausência de informações sistematizadas necessárias ao cálculo de emissões de GEE para os produtos não madeiros e para alguns produtos madeiros (Polpa de Madeira, Painéis Reconstituídos e Produtos de Madeira Sólida), o recorte metodológico para a contabilização das emissões e remoções de GEE da cadeia produtiva da silvicultura foi o seguinte:

- Emissões e remoções associadas ao cultivo de todas as árvores plantadas (ex. uso de fertilizantes; mudança do uso da terra);
- Emissões do transporte da madeira até a indústria de produção de celulose e papel e demais usos (com exceção de produtos não-madeiros);
- Emissão das atividades de carvoejamento;
- Emissões da queima da lenha e carvão vegetal;
- Emissões da atividade industrial na produção da celulose e papel;
- Emissões no transporte da celulose até o porto e mercado interno.

O recorte para a cadeia de silvicultura é apresentado na Figura 6.

4.2.3. Justificativas para Recorte Metodológico

O setor de papel e celulose é, dentre as diversas atividades presentes na cadeia produtiva da silvicultura, o mais exposto às regulamentações nacionais e internacionais relativas às mudanças climáticas. É a atividade que apresenta maior relevância de exportações na cadeia e uma das principais representatividades econômicas, com investimentos bilionários de expansão previstos para os próximos anos. Em 2023, 27,4% das florestas plantadas e 26,5% dos produtos da silvicultura produzidos no RS (IBGE, 2024a) estavam associados à atividade de papel e celulose. Considerando apenas o plantio de eucalipto, o percentual de florestas plantadas é de 43%.

O setor de papel e celulose foi o único a apresentar as informações necessárias ao cálculo de emissões

da cadeia após o manejo florestal. Apesar do interesse das organizações do setor em participar do estudo, as informações necessárias às estimativas não são usualmente sistematizadas e não puderam ser coletadas no prazo necessário ao trabalho.

Foi possível estimar as emissões de transporte para manejo florestal e da madeira para todas as florestas plantadas até o primeiro destino com base nas emissões de transporte do setor de celulose.

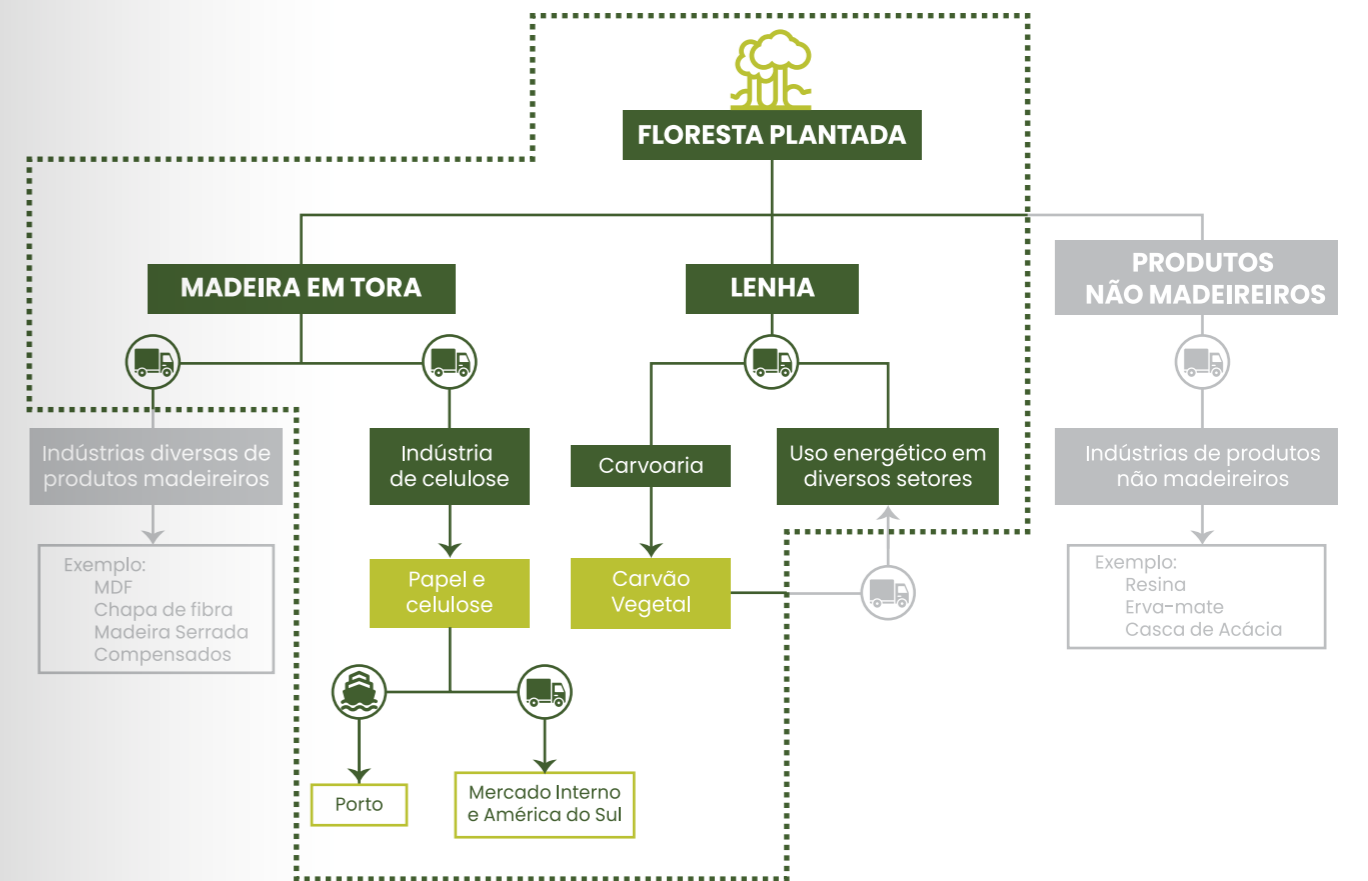
As informações sobre emissões associadas às atividades de carvoejamento e queima de lenha e carvão vegetal são especialmente relevantes, uma vez que essas finalidades correspondem ao destino de 42,4% (em toneladas) dos produtos oriundos da silvicultura (IBGE, 2025a). Os dados de quantidade de lenha e carvão utilizados como insumos energéticos foram obtidos diretamente com o Governo do Rio

Grande do Sul, por meio do Balanço Energético do Estado (BERGS) (Rio Grande do Sul, 2023a).

Para demonstrar o benefício das florestas plantadas para as mudanças climáticas, foi utilizada a metodologia do IPCC (2006a; 2019a), seguido pelo Inventário Nacional de Emissões e remoções de GEE (Brasil, 2020a), o qual calcula a contribuição líquida das emissões e remoções de carbono a partir de produtos florestais madeiros colhidos.

Dessa forma, além da estimativa do fluxo de carbono associado aos produtos florestais madeiros para a cadeia da silvicultura, a estimativa de emissões e remoções restringiu-se às emissões e remoções proporcionadas pelas atividades de plantio de florestas, às atividades de carvoejamento e de uso de lenha e carvão vegetal como insumo energético e às emissões da cadeia de papel e celulose.

Figura 6: Recorte adotado para contabilização das emissões de GEE da cadeia da silvicultura



Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.2.4. Resultados

Os resultados consolidados por etapa da cadeia produtiva da Silvicultura são apresentados a seguir, considerando as emissões e remoções de mudança de uso da terra e produtos florestais madeireiros e as demais emissões da cadeia, incluindo o manejo da floresta plantada e os caminhos da madeira em tora e lenha. Toda a metodologia de cálculo e premissas adotadas são apresentadas no Anexo A.

Apresenta-se em separado o resultado da etapa de floresta plantada (Tabela 3), cujas emissões/remoções estão associadas ao setor de Mudança de Uso da Terra (MUT). Além disso, dentro do resultado da floresta plantada, estão incluídas as emissões referentes ao manejo florestal, que corresponde ao uso de fertilizantes, calcário e cinza calcítica nas florestas plantadas.

Em todos os anos analisados, exceto 2021, a contribuição líquida da etapa de floresta plantada foi negativa, indicando que houve mais remoções do que emissões. Esse resultado se deve, principalmente, ao aumento das emissões por Mudança de Uso da Terra (MUT) em 2021, que se mostraram superiores às dos demais anos da série temporal. As estimativas de emissões e remoções associadas à MUT têm como base os dados de transição de uso da terra, disponíveis no SEEG (2024a). No entanto, é importante ressaltar que esses dados de transição de uso considerados nessas estimativas não são reconhecidos pelo setor. Ainda assim, por se tratar da única base de dados disponível, foi utilizada para os cálculos.

As emissões associadas à MUT são decorrentes, principalmente, da conversão de área de formação florestal (Mata Atlântica e Pampa) em Floresta plantada, o que representou entre 91% e 97% das conversões que geraram emissões de GEE. Algumas conversões, por sua vez, proporcionaram uma remoção de CO₂ da atmosfera, a exemplo da conversão de pastagem (entre 23,3% e 35,7% das remoções), lavouras temporárias (entre 23,1% e 42,3% das remoções) e áreas não vegetadas para floresta plantada (entre 14,6% e 32,8% das remoções).

Com relação à contribuição líquida dos Produtos Florestais Madeireiros (PFM), o resultado representa uma estimativa das alterações anuais das reservas de carbono em todos os reservatórios relevantes

(produtos em uso e em locais de disposição de resíduos) decorrente da madeira colhida em florestas plantadas. Se, durante o ano em análise, observa-se um aumento de carbono estocado no local, entende-se que houve uma remoção líquida de carbono associados aos PFM. As alterações das reservas de carbono nos vários reservatórios podem então ser combinadas e convertidas em emissões e remoções de CO₂.

Como pode ser observado na Tabela 3, em todos os anos, a contribuição líquida dos PFM foi negativa, demonstrando que houve remoção de carbono.

Entre 2018 e 2023, as remoções desta etapa aumentaram 50,7%, em razão, em especial, da redução de emissões associadas à mudança do uso da terra, que totalizou 99,97% (-1.268.378 tCO₂e). O aumento, entre 2020 e 2021, das emissões de mudança do uso da terra é atribuído, principalmente, ao aumento da conversão de formações florestais (Mata Atlântica e Pampa) em florestas plantadas. Enquanto, em 2020, a conversão destas classes proporcionou uma emissão de 1.600.631 tCO₂, em 2021, ela totalizou 7.836.518 tCO₂.

Por sua vez, a redução relevante entre 2021 e 2022 e entre 2022 e 2023 ocorreu, principalmente, pelo mesmo motivo, uma redução da conversão desta classe de áreas, que em 2022 proporcionou uma emissão de 268.510 tCO₂ e em 2023 uma emissão de apenas 5.802 tCO₂.

O Manejo florestal, que corresponde ao uso de fertilizantes, calcário e cinza calcítica nas florestas plantadas, emitiu em média 52.613 tCO₂ no período analisado.

As emissões associadas às demais etapas da cadeia contabilizadas são apresentadas na Tabela 6. Dentre as etapas contabilizadas, aquela que apresentou a maior representatividade para o setor foi a indústria da celulose, totalizando entre 41,0% e 49,8%. As emissões estão associadas, principalmente, à combustão estacionária de combustíveis fósseis na indústria, uma tendência que é decrescente desde 2019, pela redução de consumo de carvão em detrimento do uso de gás natural como insumo energético, culminando em uma redução de 19,7% no escopo 1.

O transporte da madeira colhida, que inclui também as emissões de transporte para o manejo

Tabela 3: Emissões/Remoções, em CO₂e, associados aos produtos florestais madeireiros, mudanças de uso da terra e manejo florestal

Categoria	2018 tCO ₂ e	2019 tCO ₂ e	2020 tCO ₂ e	2021 tCO ₂ e	2022 tCO ₂ e	2023 tCO ₂ e
Produtos Florestais Madeireiros	-5.143.229	-6.256.818	-5.852.571	-7.042.211	-6.870.184	-5.820.334
Mudança de Uso da Terra	1.268.771	1.202.784	1.603.212	7.944.864	268.876	393
Manejo florestal	49.307	45.706	46.476	58.541	60.562	55.087
Emissões totais – Floresta Plantada	-3.825.151	-5.008.327	-4.202.882	961.194	-6.540.746	-5.764.854

Fonte: Elaboração própria, 2025.

O Estoque de carbono (tC), por ano e por tipo de árvore, é apresentado na tabela 4. As florestas plantadas no Rio Grande do Sul apresentaram um aumento de estoque de 18,9% entre 2018 e 2023.

Tabela 4: Estoque de carbono (tC) por ano e por tipo de árvore

Espécie plantada	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Eucalipto (C)	17.224.541	17.224.541	17.224.541	27.021.504	23.936.452	23.843.455
Pinus (C)	18.482.185	18.482.185	18.482.185	20.235.408	20.186.513	19.753.446
Acácia-negra (C)	1.934.912	1.934.912	1.934.912	1.639.061	1.846.373	1.174.768
Total	37.641.638	37.641.638	37.641.638	48.895.973	45.969.337	44.771.670

Fonte: Elaboração própria, 2025.

florestal, representou entre 3,7% e 8,8% das emissões do setor. O transporte de produto final das indústrias de papel e celulose apresentou baixa relevância, pelo fato de todo transporte fábrica-porto ocorrer por navegação de cabotagem e a estimativa considerar apenas as emissões de transporte que ocorrem no estado do RS.

Vale ressaltar que, apesar de representar a maior parte das emissões da cadeia, excluindo a Mudança de Uso da Terra (MUT), a indústria de celulose foi a única indústria que teve as suas emissões contabilizadas por completo, pela ausência de reporte das demais indústrias do setor.

Com relação às demais indústrias que utilizam a madeira em tora, apenas as emissões de transporte foram estimadas, o que representou entre 4,5% e 7,4% das emissões do setor.

O caminho da lenha, que inclui emissões de transporte da madeira colhida, carvoejamento e queima do carvão vegetal e lenha, representou entre 38,2% e 42,8% das emissões contabilizadas. A fonte que mais impactou no resultado foi o consumo energético da Lenha e Carvão Vegetal por diversos setores, em razão, principalmente, do uso pelo setor agropecuário (entre 54,1% e 59,4% do total) e pelo setor residencial (entre 25,4% e 31,6% do total).

Em razão da geração de energia renovável para autoconsumo e do despacho do excedente para o Sistema Interligado Nacional (SIN), a indústria de papel e celulose deixou de adquirir energia elétrica do SIN e, por isso, evitou emissões de GEE. Apresenta-se na tabela 5 abaixo as emissões evitadas:

Tabela 5: Emissões Evitadas por Autogeração de Energia Renovável (tCO₂e)

Ano	Fonte	Emissões tCO ₂ e
2018	Emissão evitada pela geração de eletricidade	133.584
2019	Emissão evitada pela geração de eletricidade	126.267
2020	Emissão evitada pela geração de eletricidade	115.937
2021	Emissão evitada pela geração de eletricidade	118.853
2022	Emissão evitada pela geração de eletricidade	450.401
2023	Emissão evitada pela geração de eletricidade	371.671

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela 6: Emissões (tCO₂e) da cadeia Silvicultura entre 2018 e 2023

Etapas da Cadeia	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Madeira em tora (indústria de celulose)	770.433	51,6%	805.745	54,1%	882.796	56,7%
Transporte de Madeira colhida	58.217	3,9%	55.002	3,7%	137.292	8,8%
Indústria	702.356	47,1%	741.213	49,8%	729.116	46,8%
Escopo 1	701.119	47,0%	738.385	49,6%	727.155	46,7%
Escopo 2	1.237	0,1%	2.827	0,2%	1.961	0,1%
Transporte de papel e celulose	9.860	0,7%	9.530	0,6%	16.388	1,1%
Cabotagem - Fábrica ao porto Rio Grande	6.053	0,4%	6.219	0,4%	6.548	0,4%
Rodoviário - Rio Grande do Sul					7.401	0,5%
Rodoviário - Outros estados brasileiros	3.807	0,3%	3.312	0,2%		
Rodoviário - países América do Sul					2.440	0,2%
Madeira em tora (outras indústrias)	82.609	5,5%	67.047	4,5%	79.222	5,1%
Transporte de Madeira colhida	82.609	5,5%	67.047	4,5%	79.222	5,1%
Lenha	639.580	42,8%	615.563	41,4%	594.841	38,2%
Transporte de Madeira colhida	164.302	11,0%	152.636	10,3%	148.181	9,5%
Carvoejamento	81.072	5,4%	81.665	5,5%	81.901	5,3%
Consumo energético da Lenha e Carvão Vegetal	394.207	26,4%	381.262	25,6%	364.759	23,4%
Total Geral	1.492.623	100%	1.488.355	100%	1.556.859	100%

Etapas da Cadeia	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Madeira em tora (indústria de celulose)	855.082	55,4%	802.526	54,1%	683.379	49,8%
Transporte de Madeira colhida	126.928	8,2%	108.855	7,3%	107.487	7,8%
Indústria	713.202	46,2%	680.434	45,8%	563.265	41,0%
Escopo 1	708.823	46,0%	679.394	45,8%	563.201	41,0%
Escopo 2	4.380	0,3%	1.040	0,1%	64	0,0%
Transporte de papel e celulose	14.952	1,0%	13.238	0,9%	12.627	0,9%
Cabotagem - Fábrica ao porto Rio Grande	6.206	0,4%	6.754	0,5%	6.036	0,4%
Rodoviário - Rio Grande do Sul	1.163	0,1%	1.155	0,1%	2.044	0,1%
Rodoviário - Outros estados brasileiros	4.138	0,3%	3.224	0,2%	4.254	0,3%
Rodoviário - países América do Sul	3.444	0,2%	2.106	0,1%	292	0,0%
Madeira em tora (outras indústrias)	89.750	5,8%	92.841	6,3%	101.367	7,4%
Transporte de Madeira colhida	89.750	5,8%	92.841	6,3%	101.367	7,4%
Lenha	597.707	38,7%	588.831	39,7%	587.715	42,8%
Transporte de Madeira colhida	141.667	9,2%	143.903	9,7%	152.463	11,1%
Carvoejamento	91.431	5,9%	95.065	6,4%	88.884	6,5%
Consumo energético da Lenha e Carvão Vegetal	364.609	23,6%	349.863	23,6%	346.368	25,2%
Total Geral	1.542.539	100%	1.484.198	100%	1.372.461	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

As emissões líquidas, calculadas com base nas etapas consideradas da cadeia, ainda que de maneira parcial, estão apresentadas na Tabela 7. Vale ressaltar que não foram consideradas as emissões

de toda a cadeia, por isso, o resultado pode estar superestimando as contribuições do setor para as mudanças climáticas.

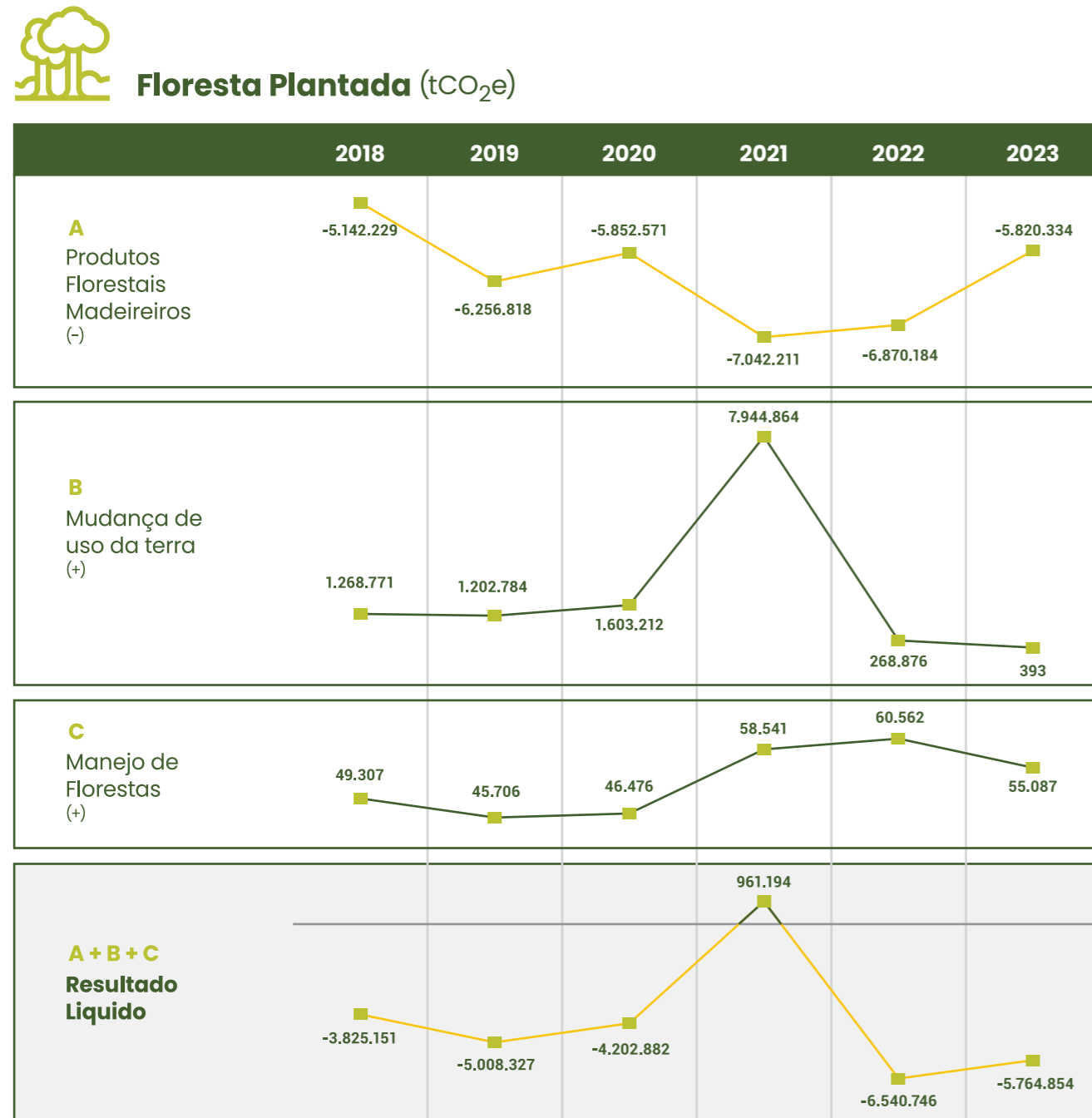
Tabela 7: Emissões/Remoções líquidas da cadeia parcial da Silvicultura entre 2018 e 2023

2018	2019	2020	2021	2022	2023
-2.332.528	-3.519.972	-2.646.023	2.503.733	-5.056.549	-4.392.393

Fonte: Elaboração própria, 2025.

As Figuras 7, 8, 9 e 10 consolidam de forma gráfica as emissões por etapa da cadeia produtiva da Silvicultura ano a ano no período de análise:

Figura 7: Emissões e remoções ano a ano - Floresta Plantada (tCO₂e)

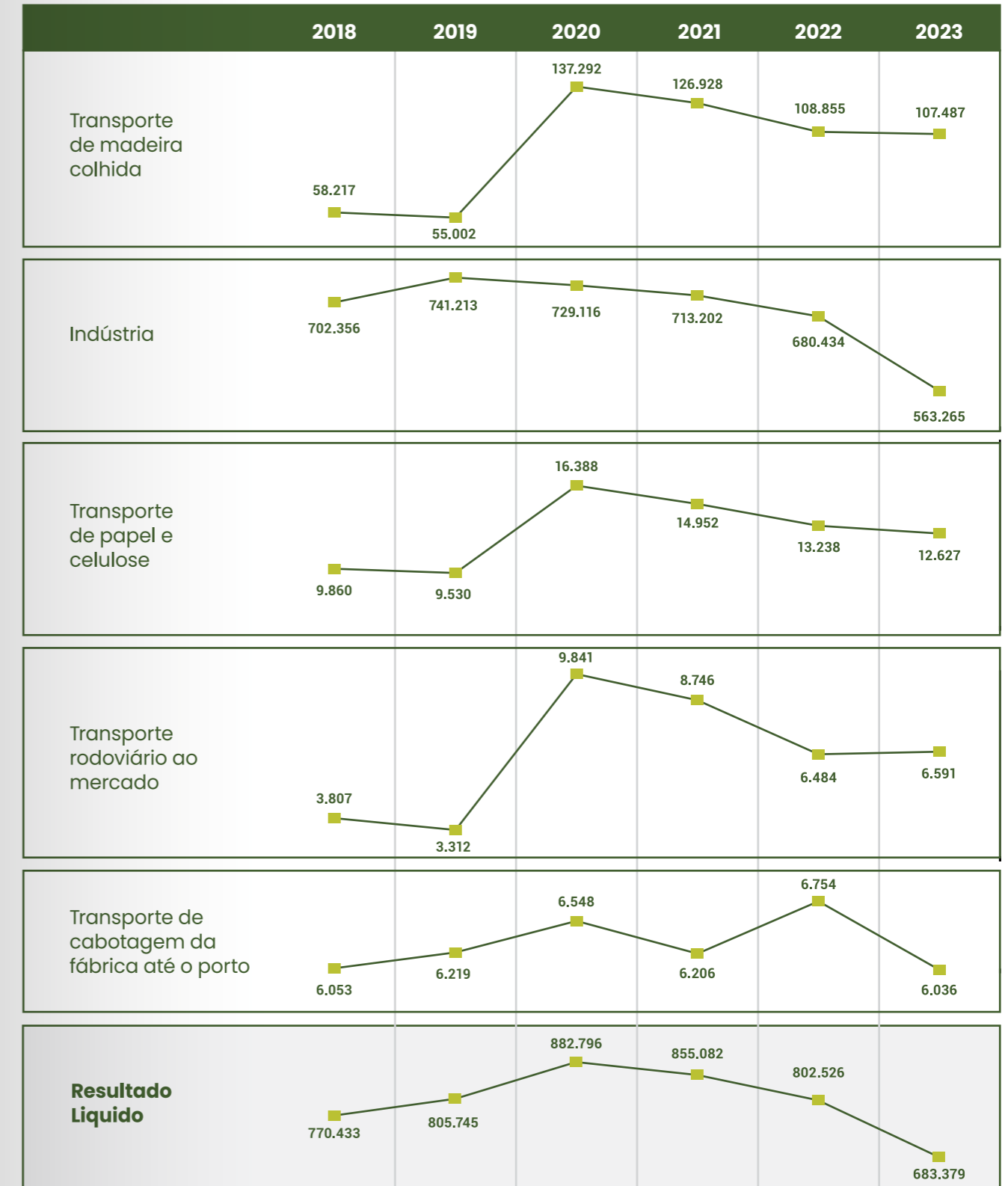


Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 8: Emissões e remoções ano a ano - Indústria de Papel e Celulose (tCO₂e)

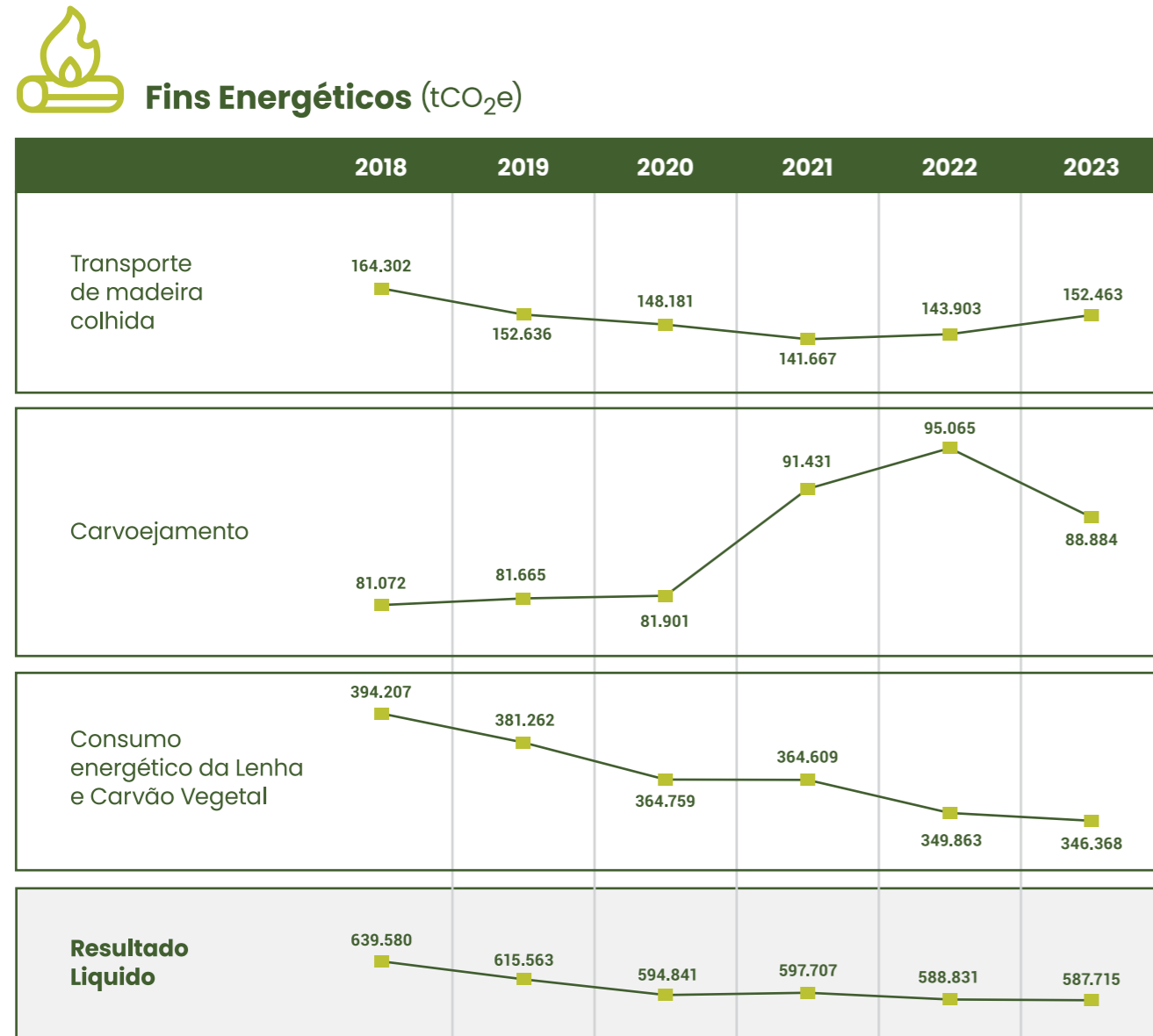


Indústria de papel e celulose (tCO₂e)

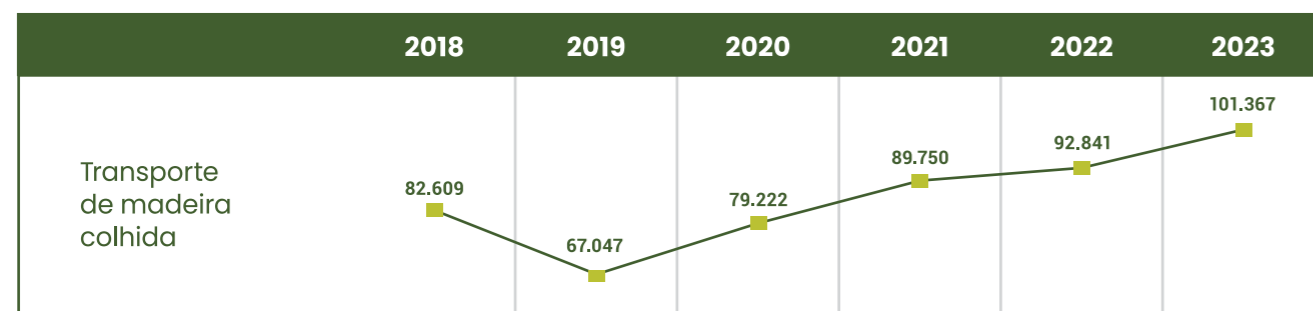


Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 9: Emissões ano a ano – Fins Energéticos e Outras indústrias (tCO₂e)

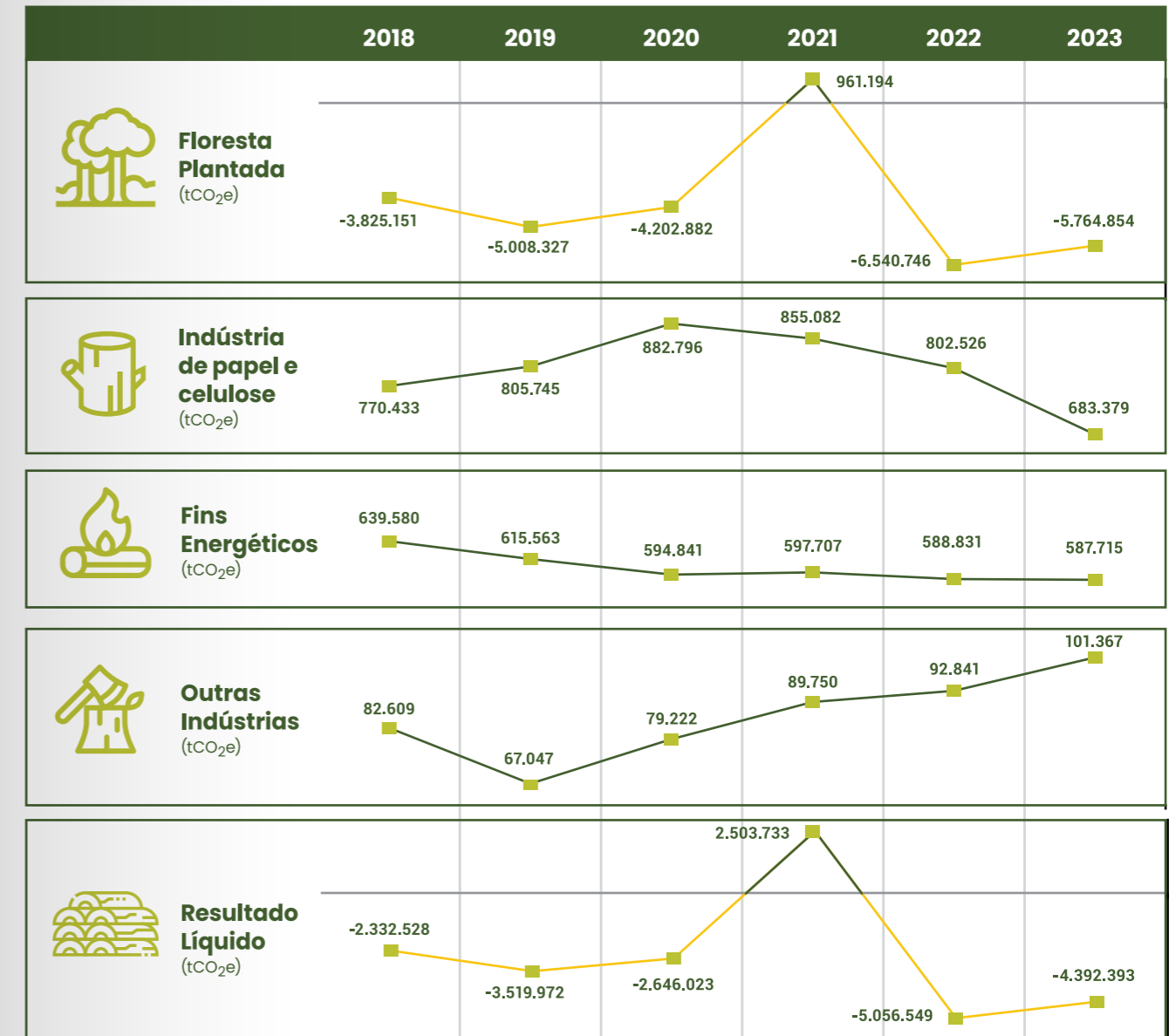


Outras Indústrias (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 10: Emissões ano a ano Consolidado – cadeia da Silvicultura (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Observa-se que apenas em 2021, a cadeia de silvicultura apresentou emissões líquidas de GEE, em decorrência das emissões de mudança de uso do solo atribuídas a grande quantidade de hectares convertidos de formações florestais (Mata Atlântica e Pampa) em florestas plantadas. Em todos os demais anos, o setor proporciona remoção de CO₂, variando de forma líquida entre 2,3 milhões de remoção de tCO₂ e 5,05 milhões de tCO₂.

Analisando as emissões da cadeia de silvicultura, excluindo a contribuição de florestas plantadas,

entre 2018 e 2023, houve uma redução de 8,1%, em razão da queda das emissões associadas à indústria de celulose (-87.054 tCO₂e), pela redução do uso do carvão à lenha (-51.865 tCO₂e), sendo compensadas, em parte, pelo aumento das emissões pelo transporte de madeira em tora para outras indústrias que não a de papel e celulose (18.757 tCO₂e).

4.3. ARROZ

4.3.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva

O Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável do Rio Grande do Sul coloca o arroz como parte da economia de sustentação do Estado, sendo reconhecida como a segunda cultura agrícola mais expressiva do Rio Grande do Sul em volume de produção e Valor Bruto da Produção (VBP), conforme o Painel do Agronegócio do Rio Grande do Sul (2024c).

Cultivado em 180 municípios e em terras baixas do bioma Pampa, o arroz gaúcho é direcionado predominantemente ao mercado brasileiro. O Estado é responsável pela maior parte da produção do país, e, segundo dados do IBGE - Produção Agrícola Municipal (2024b), responde por cerca de 69% da produção nacional.

De acordo com a Radiografia da Agropecuária Gaúcha de 2024, com uma área colhida de 858,34 mil hectares, em 2023, e uma produção de 7,19 milhões de toneladas, a cultura do arroz no Estado foi responsável por um Valor Bruto de Produção de R\$16,38 bilhões. No mesmo ano, a receita gerada pela exportação do arroz produzido no Rio Grande do Sul foi de U\$603,5 milhões, advindos da interação econômica com 80 países (Rio Grande do Sul, 2024e).

A irrigação desempenha um papel fundamental para o bom desempenho da rizicultura no Rio Grande do Sul, contribuindo tanto para a alta produtividade quanto para a regularidade da produção. No estado, o arroz irrigado apresenta uma produtividade média quase três vezes maior do que a do arroz cultivado sem irrigação (Rio Grande do Sul, 2024e).

O sistema de cultivo mínimo é a prática mais importante, representando aproximadamente 63% da produção total de arroz do Estado na média do período 2018 a 2023. O sistema de cultivo convencional e outros cultivos (plantio direto e pré-germinado) representam 19% e 18%, respectivamente (IRGA, 2025a).

A cadeia do arroz já vem enfrentando desafios relacionados às mudanças do clima. Eventos extremos como estiagens severas e enchentes, intensificados pelas mudanças climáticas, têm

afetado a estabilidade produtiva da cultura no Estado. A safra de 2021/2022 sofreu com escassez hídrica provocada pelo fenômeno La Niña, enquanto o ciclo de 2023/2024 foi marcado por eventos associados ao El Niño (IRGA, 2025a).

Em particular, a safra 2023/24 foi desafiadora desde a semeadura até a colheita. Houve atraso na implantação da lavoura em várias regiões, especialmente na Região Central, seguido pelas inundações de maio de 2024, que destruíram cerca de 41.388 hectares (4,7% da área total cultivada) (IRGA, 2025a).

No aspecto social, o arroz se destaca por sua adaptabilidade ao cultivo em diferentes escalas, beneficiando a agricultura familiar e empresarial. Gera cerca de 37,2 mil empregos e, na metade sul do RS, o arroz irrigado é a principal atividade econômica, superando 50% do valor da produção agrícola em vários municípios (SOSBAI, 2018).

Em termos de emissões, segundo estimativas do SEEG (2025), em 2023, o cultivo do arroz no estado emitiu 7,2 milhões tCO e, correspondendo a 8,1% das emissões totais do Rio Grande do Sul.

4.3.2. Recorte Metodológico da Cadeia Produtiva

Para fins de coleta e tratamento dos dados no que tange à cadeia do arroz, foram consideradas as seguintes fontes de emissões para análise:

- As emissões associadas ao cultivo do arroz, incluindo as emissões de CH₄ decorrente da decomposição anaeróbia de matéria orgânica presente na água e na produção do arroz inundado, nos diferentes métodos de cultivo e o uso de combustíveis na produção e consumo de energia na irrigação;
- As emissões diretas e indiretas por solos manejados, decorrente do N₂O emitido a partir do uso de fertilizantes nitrogenados (fertilizantes sintéticos e ureia); as emissões de CO₂ por uso da ureia, e as associadas aos resíduos agrícolas da cultura que se decompõem. As emissões diretas estão relacionadas ao nitrogênio contido ou

aplicado ao solo que passam por um processo de nitrificação e desnitrificação. Tais processos são mediados por microrganismos e influenciados por fatores biogeoquímicos, além de estarem diretamente relacionados ao tipo de manejo agrícola adotado. Enquanto as emissões indiretas estão relacionadas ao processo de lixiviação do Nitrogênio, onde as substâncias solúveis são carregadas pela água da chuva ou irrigação e transportadas para camadas mais profundas do solo.

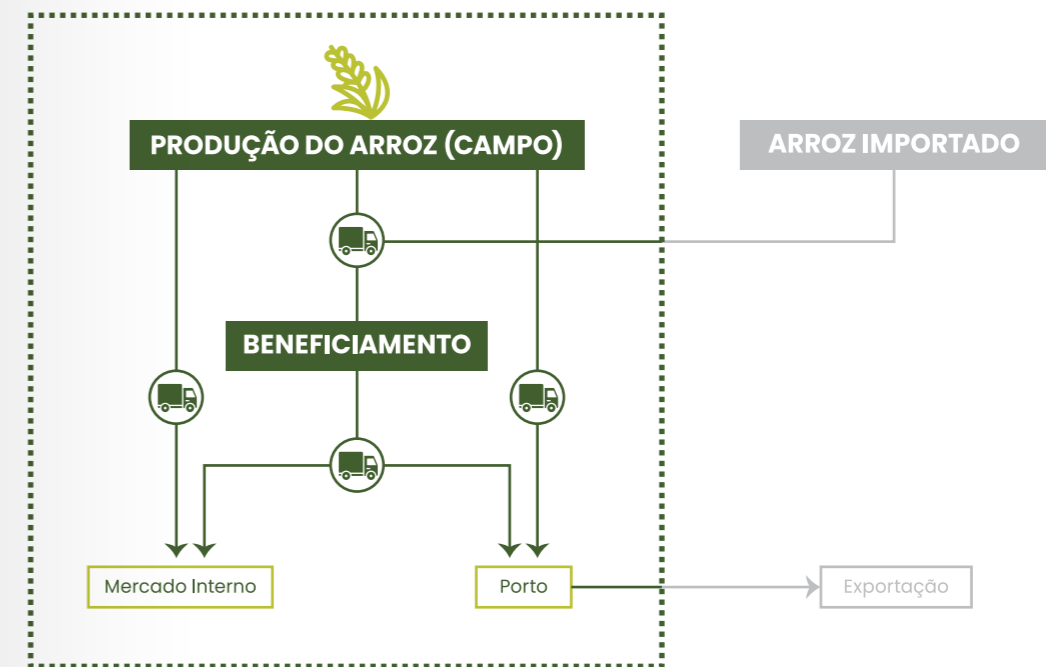
- As emissões e remoções associadas a mudança do uso da terra, contemplando: (i) alterações de uso da terra que provocam emissões ou remoções (ii) carbono orgânico no solo – emissões e remoções decorrentes da alteração da quantidade

de carbono armazenado na matéria orgânica do solo; e (iii) resíduos florestais – emissões decorrentes da queima de biomassa florestal;

- As emissões associadas ao transporte do arroz, decorrente do transporte rodoviário do arroz cru e beneficiado até o porto (que foram comercializados ao mercado externo) e até os mercados consumidores nacionais (que foram vendidos no mercado interno), transporte do arroz importado do porto até o ponto de armazenagem e/ou beneficiamento e transporte do arroz do campo até o ponto de beneficiamento;
- As emissões do beneficiamento, decorrente da secagem, processamento e embalagem.

A Figura 11 apresenta as atividades incluídas na cadeia do arroz.

Figura 11: Cadeia do Arroz do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.3.3. Justificativas para o Recorte Metodológico da Cadeia Produtiva

A produção do arroz é um dos segmentos industriais estratégicos do Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável lançado pelo Governo Estadual, estando classificada como um setor da Economia de Sustentação (Rio Grande do Sul, 2024d). É a segunda cultura agrícola mais expressiva do estado em volume de produção e valor bruto da produção (Rio Grande do Sul, 2024c).

Também é uma cadeia onde as atividades já sentem os desafios impostos pelas mudanças climáticas e cujas estimativas do SEEG (2025) apontam para uma relevância nas emissões do estado do Rio Grande do Sul. A amplitude de mensuração proposta para a cadeia buscou abranger todas as atividades consideradas relevantes.

Não foram consideradas as emissões associadas às fontes orgânicas aplicadas no cultivo de arroz (irrigado por inundação), devido à falta de informações sistematizadas sobre os tipos e quantidades dessas fontes específicas para a cultura, em conformidade com o critério adotado pela metodologia adotada pelo 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020b) e pelo SEEG (2024c).

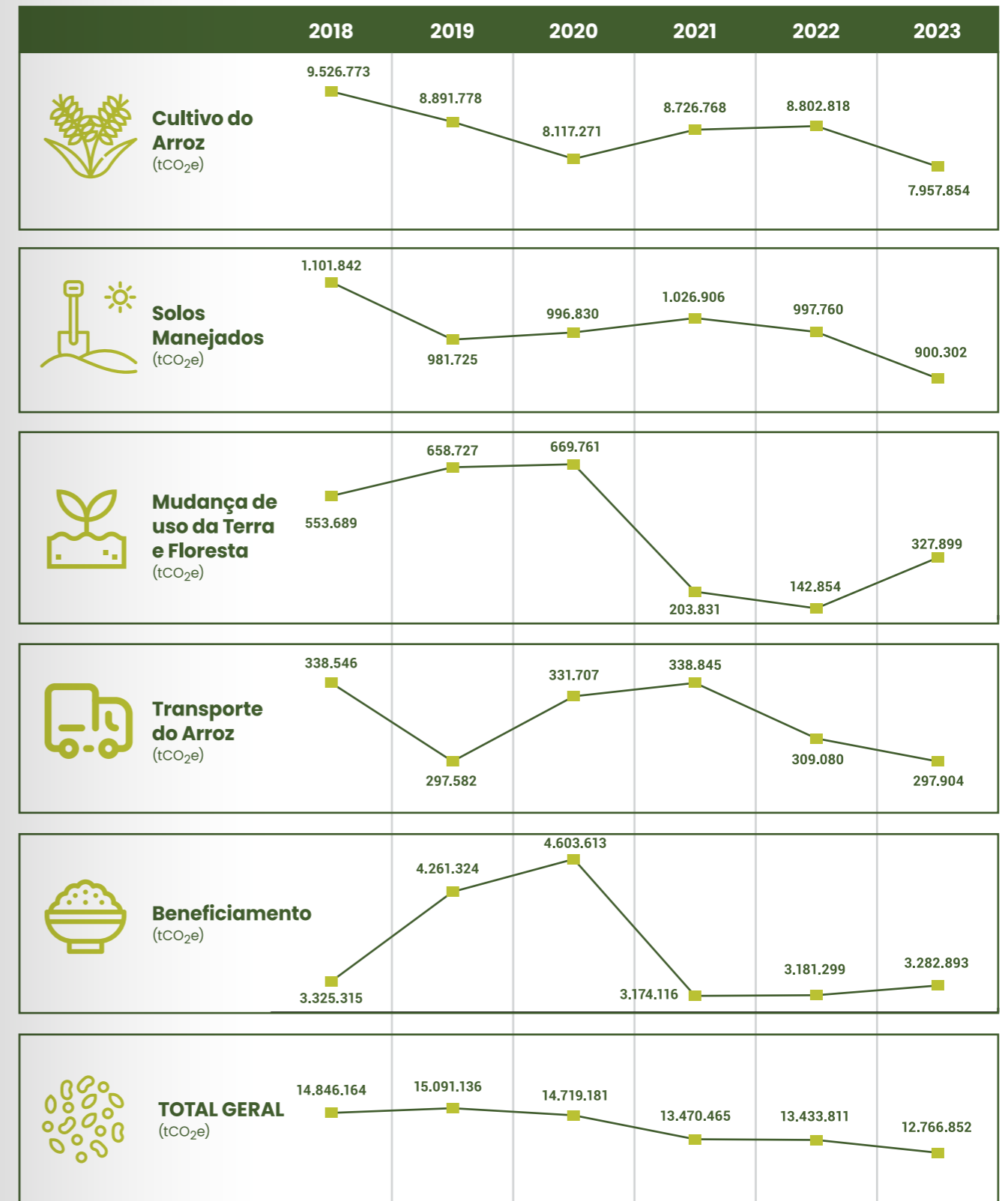
A mesma limitação se aplica às estimativas de emissões diretas provenientes de solos orgânicos e da mineralização do nitrogênio no solo. Nesses dois casos, a variável essencial para o cálculo é a área cultivada sobre organossolos em cada ano. Contudo, o 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020a) destaca que essa área não está identificada nos mapas de uso e cobertura do solo, impossibilitando a estimativa das emissões referentes ao cultivo de arroz irrigado nesses contextos.

4.3.4. Resultados

A Tabela 8 apresenta os resultados consolidados de forma detalhada por etapa da cadeia produtiva do arroz e sua representatividade ano a ano na série histórica considerada. Há uma concentração de emissões no processo de cultivo do arroz, que responde por uma média de 62% de todas as emissões da cadeia na série histórica analisada (2018 a 2023). O beneficiamento contribui com 26% das emissões totais, sendo o processamento o principal responsável (23%), enquanto as etapas de secagem e embalagem, juntas, somam apenas 3%. As emissões associadas ao manejo do solo representam 7%, na média entre os anos de 2018 e 2023, associadas aos resíduos da colheita (3,2%), fertilizantes nitrogenados (2,4%) e emissões de CO₂ pelo uso da ureia (1,6%).

A Figura 12 a seguir consolida de forma gráfica as emissões e remoções por etapa da cadeia do arroz no período analisado. A figura evidencia que, entre 2018 e 2023, as emissões da cadeia do arroz apresentaram uma redução de 14% nas emissões de GEE (-2.079 mil tCO₂e), com concentração nas emissões diretas de CH₄ no cultivo do arroz (-1.459 mil tCO₂e) e mudança de uso da terra e florestas (-225 mil tCO₂e), principalmente pela menor área plantada (- 223 mil ha).

Figura 12: Emissões ano a ano Consolidado – cadeia do arroz (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela 8: Emissões da cadeia do arroz entre 2018 e 2023 (tCO₂e / %)

Etapas da Cadeia	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Cultivo do Arroz	9.526.773	64,17%	8.891.778	58,92%	8.117.271	55,15%
Emissões Diretas de CH₄	9.110.122	61,36%	8.510.387	56,39%	7.758.747	52,71%
Fronteira Oeste	2.651.078	17,86%	2.535.118	16,80%	2.311.912	15,71%
Campanha	1.321.819	8,90%	1.149.078	7,61%	1.160.520	7,88%
Central	1.235.915	8,32%	1.205.369	7,99%	1.096.025	7,45%
Planície Costeira Interna	1.205.240	8,12%	1.218.597	8,07%	1.138.476	7,73%
Planície Costeira Externa	1.112.323	7,49%	952.608	6,31%	848.002	5,76%
Zona Sul	1.581.768	10,65%	1.447.785	9,59%	1.202.410	8,17%
Fora da Região Produtora	1.978	0,01%	1.831	0,01%	1.401	0,01%
Combustão Móvel/ Estacionária (Consumo de óleo Diesel)	373.022	2,51%	340.677	2,26%	326.108	2,22%
Fronteira Oeste	110.030	0,74%	102.757	0,68%	100.553	0,68%
Campanha	56.666	0,38%	48.919	0,32%	47.777	0,32%
Central	49.720	0,33%	47.014	0,31%	44.787	0,30%
Planície Costeira Interna	50.014	0,34%	48.650	0,32%	45.812	0,31%
Planície Costeira Externa	46.169	0,31%	39.343	0,26%	35.697	0,24%
Zona Sul	60.342	0,41%	53.916	0,36%	51.420	0,35%
Fora da Região Produtora	81	0,00%	78	0,00%	61	0,00%
Consumo de Energia Elétrica na Irrigação	43.629	0,29%	40.714	0,27%	32.416	0,22%
Fronteira Oeste	12.869	0,09%	12.280	0,08%	9.995	0,07%
Campanha	6.628	0,04%	5.846	0,04%	4.749	0,03%
Central	5.815	0,04%	5.619	0,04%	4.452	0,03%
Planície Costeira Interna	5.850	0,04%	5.814	0,04%	4.554	0,03%
Planície Costeira Externa	5.400	0,04%	4.702	0,03%	3.548	0,02%
Zona Sul	7.058	0,05%	6.444	0,04%	5.111	0,03%
Fora da Região Produtora	9	0,00%	9	0,00%	6	0,00%
Solos Manejados	1.101.842	7,42%	981.725	6,51%	996.830	6,77%
Emissões Diretas	855.136	5,76%	760.625	5,04%	774.263	5,26%
Aplicação de Ureia	250.697	1,69%	230.651	1,53%	223.261	1,52%
Fronteira Oeste	73.948	0,50%	69.570	0,46%	68.841	0,47%
Campanha	38.083	0,26%	33.120	0,22%	32.709	0,22%
Central	33.415	0,23%	31.830	0,21%	30.662	0,21%
Planície Costeira Interna	33.613	0,23%	32.938	0,22%	31.364	0,21%
Planície Costeira Externa	31.029	0,21%	26.636	0,18%	24.439	0,17%
Zona Sul	40.554	0,27%	36.503	0,24%	35.203	0,24%
Fora da Região Produtora	54	0,00%	53	0,00%	42	0,00%

Aplicação de fertilizantes nitrogenados (fertilizantes sintéticos e Ureia)	210.871	1,42%	194.009	1,29%	187.794	1,28%
Fronteira Oeste	62.200	0,42%	58.518	0,39%	57.905	0,39%
Campanha	32.033	0,22%	27.858	0,18%	27.513	0,19%
Central	28.107	0,19%	26.773	0,18%	25.791	0,18%
Planície Costeira Interna	28.273	0,19%	27.705	0,18%	26.382	0,18%
Planície Costeira Externa	26.100	0,18%	22.405	0,15%	20.556	0,14%
Zona Sul	34.112	0,23%	30.704	0,20%	29.611	0,20%
Fora da Região Produtora	46	0,00%	44	0,00%	35	0,00%
Resíduos Agrícolas	393.568	2,65%	335.966	2,23%	363.208	2,47%
Fronteira Oeste	128.170	0,86%	102.140	0,68%	117.144	0,80%
Campanha	60.075	0,40%	47.547	0,32%	54.506	0,37%
Central	51.195	0,34%	43.437	0,29%	46.207	0,31%
Planície Costeira Interna	46.679	0,31%	46.936	0,31%	48.530	0,33%
Planície Costeira Externa	40.621	0,27%	36.149	0,24%	34.527	0,23%
Zona Sul	66.795	0,45%	59.722	0,40%	62.270	0,42%
Fora da Região Produtora	34	0,00%	35	0,00%	23	0,00%
Emissões Indiretas	246.706	1,66%	221.099	1,47%	222.567	1,51%
Resíduos Agrícolas	88.553	0,60%	75.592	0,50%	81.722	0,56%
Fronteira Oeste	28.838	0,19%	22.981	0,15%	26.357	0,18%
Campanha	13.517	0,09%	10.698	0,07%	12.264	0,08%
Central	11.519	0,08%	9.773	0,06%	10.397	0,07%
Planície Costeira Interna	10.503	0,07%	10.561	0,07%	10.919	0,07%
Planície Costeira Externa	9.140	0,06%	8.134	0,05%	7.769	0,05%
Zona Sul	15.029	0,10%	13.438	0,09%	14.011	0,10%
Fora da Região Produtora	8	0,00%	8	0,00%	5	0,00%
Aplicação de fertilizantes nitrogenados (fertilizantes sintéticos e Ureia)	158.153	1,07%	145.507	0,96%	140.845	0,96%
Fronteira Oeste	46.650	0,31%	43.889	0,29%	43.429	0,30%
Campanha	24.025	0,16%	20.894	0,14%	20.635	0,14%
Central	21.080	0,14%	20.080	0,13%	19.343	0,13%
Planície Costeira Interna	21.205	0,14%	20.779	0,14%	19.786	0,13%
Planície Costeira Externa	19.575	0,13%	16.804	0,11%	15.417	0,10%
Zona Sul	25.584	0,17%	23.028	0,15%	22.208	0,15%
Fora da Região Produtora	34	0,00%	33	0,00%	26	0,00%
Mudança de Uso da Terra e Floresta	553.689	3,73%	658.727	4,36%	669.761	4,55%
Emissões Diretas	553.861	3,73%	658.969	4,37%	669.972	4,55%
Emissões Diretas	(172)	0,00%	(242)	0,00%	(211)	0,00%

Etapas da Cadeia	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Transporte do Arroz	338.546	2,28%	297.582	1,97%	331.707	2,25%
Transporte Rodoviário	338.546	2,28%	297.582	1,97%	331.707	2,25%
Transporte para o Beneficiamento	26.875	0,18%	34.187	0,23%	36.524	0,25%
Transporte de Arroz Importado para Armazenamento/Beneficiamento	1.246	0,01%	1.779	0,01%	3.394	0,02%
Mercado Interno	281.004	1,89%	241.290	1,60%	261.069	1,77%
Fronteira Oeste	99.963	0,67%	80.913	0,54%	91.778	0,62%
Campanha	50.844	0,34%	40.873	0,27%	46.339	0,31%
Central	35.142	0,24%	30.285	0,20%	31.862	0,22%
Planície Costeira Interna	25.878	0,17%	26.430	0,18%	27.027	0,18%
Planície Costeira Externa	8.700	0,06%	7.864	0,05%	7.429	0,05%
Zona Sul	60.469	0,41%	54.916	0,36%	56.629	0,38%
Fora da Região Produtora	8	0,00%	8	0,00%	5	0,00%
Mercado Externo	29.421	0,20%	20.326	0,13%	30.720	0,21%
Fronteira Oeste	2.475	0,02%	3.614	0,02%	4.989	0,03%
Campanha	174	0,00%	421	0,00%	412	0,00%
Central	3.452	0,02%	4.936	0,03%	8.469	0,06%
Planície Costeira Interna	593	0,00%	1.223	0,01%	1.841	0,01%
Planície Costeira Externa	12.223	0,08%	2.620	0,02%	5.000	0,03%
Zona Sul	3.122	0,02%	2.859	0,02%	2.716	0,02%
Fora da Região Produtora	7.382	0,05%	4.653	0,03%	7.294	0,05%
Beneficiamento	3.325.315	22,40%	4.261.324	28,24%	4.603.613	31,28%
Processo de Beneficiamento	3.325.315	22,40%	4.261.324	28,24%	4.603.613	31,28%
Secagem	171.771	1,16%	220.121	1,46%	237.803	1,62%
Processamento	2.986.177	20,11%	3.826.726	25,36%	4.134.105	28,09%
Embalagem	167.367	1,13%	214.477	1,42%	231.705	1,57%
Total Geral	14.846.164	100%	15.091.136	100%	14.719.181	100%

Etapas da Cadeia	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Cultivo do Arroz	8.726.768	64,78%	8.802.818	65,53%	7.957.854	62,33%
Emissões Diretas de CH₄	8.334.399	61,87%	8.445.838	62,87%	7.650.641	59,93%
Fronteira Oeste	2.334.298	17,33%	2.454.190	18,27%	2.348.614	18,40%
Campanha	1.083.339	8,04%	1.134.226	8,44%	1.058.892	8,29%
Central	1.204.194	8,94%	1.129.774	8,41%	1.008.591	7,90%
Planície Costeira Interna	1.250.300	9,28%	1.258.559	9,37%	1.101.748	8,63%
Planície Costeira Externa	945.589	7,02%	976.919	7,27%	847.892	6,64%
Zona Sul	1.515.284	11,25%	1.490.351	11,09%	1.283.240	10,05%
Fora da Região Produtora	1.395	0,01%	1.820	0,01%	1.664	0,01%
Combustão Móvel/ Estacionária (Consumo de óleo Diesel)	326.104	2,42%	334.381	2,49%	289.242	2,27%
Fronteira Oeste	96.077	0,71%	98.825	0,74%	85.908	0,67%
Campanha	43.703	0,32%	46.496	0,35%	42.238	0,33%
Central	45.694	0,34%	45.288	0,34%	39.018	0,31%
Planície Costeira Interna	47.485	0,35%	48.740	0,36%	42.002	0,33%
Planície Costeira Externa	37.085	0,28%	38.647	0,29%	32.935	0,26%
Zona Sul	55.999	0,42%	56.304	0,42%	47.071	0,37%
Fora da Região Produtora	61	0,00%	82	0,00%	70	0,00%
Consumo de Energia Elétrica na Irrigação	66.266	0,49%	22.600	0,17%	17.971	0,14%
Fronteira Oeste	19.523	0,14%	6.679	0,05%	5.338	0,04%
Campanha	8.881	0,07%	3.143	0,02%	2.624	0,02%
Central	9.285	0,07%	3.061	0,02%	2.424	0,02%
Planície Costeira Interna	9.649	0,07%	3.294	0,02%	2.610	0,02%
Planície Costeira Externa	7.536	0,06%	2.612	0,02%	2.046	0,02%
Zona Sul	11.379	0,08%	3.805	0,03%	2.925	0,02%
Fora da Região Produtora	12	0,00%	6	0,00%	4	0,00%
Solos Manejados	1.026.906	7,62%	997.760	7,43%	900.302	7,05%
Emissões Diretas	798.889	5,93%	774.616	5,77%	699.862	5,48%
Aplicação de Ureia	222.842	1,65%	225.554	1,68%	198.393	1,55%
Fronteira Oeste	65.654	0,49%	66.662	0,50%	58.925	0,46%
Campanha	29.864	0,22%	31.363	0,23%	28.971	0,23%
Central	31.225	0,23%	30.549	0,23%	26.763	0,21%
Planície Costeira Interna	32.449	0,24%	32.878	0,24%	28.809	0,23%
Planície Costeira Externa	25.342	0,19%	26.069	0,19%	22.590	0,18%
Zona Sul	38.267	0,28%	37.979	0,28%	32.286	0,25%
Fora da Região Produtora	42	0,00%	55	0,00%	48	0,00%

Etapas da Cadeia	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Aplicação de fertilizantes nitrogenados (fertilizantes sintéticos e Ureia)	187.441	1,39%	189.722	1,41%	166.876	1,31%
Fronteira Oeste	55.224	0,41%	56.072	0,42%	49.564	0,39%
Campanha	25.120	0,19%	26.381	0,20%	24.369	0,19%
Central	26.265	0,19%	25.696	0,19%	22.511	0,18%
Planície Costeira Interna	27.294	0,20%	27.655	0,21%	24.232	0,19%
Planície Costeira Externa	21.316	0,16%	21.928	0,16%	19.001	0,15%
Zona Sul	32.188	0,24%	31.946	0,24%	27.157	0,21%
Fora da Região Produtora	35	0,00%	46	0,00%	41	0,00%
Resíduos Agrícolas	388.606	2,88%	359.340	2,67%	334.593	2,62%
Fronteira Oeste	124.615	0,93%	103.665	0,77%	96.818	0,76%
Campanha	50.994	0,38%	52.298	0,39%	51.439	0,40%
Central	50.573	0,38%	43.621	0,32%	41.722	0,33%
Planície Costeira Interna	54.848	0,41%	53.109	0,40%	47.344	0,37%
Planície Costeira Externa	38.186	0,28%	39.521	0,29%	35.380	0,28%
Zona Sul	69.361	0,51%	67.097	0,50%	61.867	0,48%
Fora da Região Produtora	28	0,00%	27	0,00%	24	0,00%
Emissões Indiretas	228.017	1,69%	223.143	1,66%	200.440	1,57%
Resíduos Agrícolas	87.436	0,65%	80.851	0,60%	75.283	0,59%
Fronteira Oeste	28.038	0,21%	23.325	0,17%	21.784	0,17%
Campanha	11.474	0,09%	11.767	0,09%	11.574	0,09%
Central	11.379	0,08%	9.815	0,07%	9.387	0,07%
Planície Costeira Interna	12.341	0,09%	11.949	0,09%	10.652	0,08%
Planície Costeira Externa	8.592	0,06%	8.892	0,07%	7.960	0,06%
Zona Sul	15.606	0,12%	15.097	0,11%	13.920	0,11%
Fora da Região Produtora	6	0,00%	6	0,00%	5	0,00%
Aplicação de fertilizantes nitrogenados (fertilizantes sintéticos e Ureia)	140.581	1,04%	142.292	1,06%	125.157	0,98%
Fronteira Oeste	41.418	0,31%	42.054	0,31%	37.173	0,29%
Campanha	18.840	0,14%	19.786	0,15%	18.276	0,14%
Central	19.698	0,15%	19.272	0,14%	16.883	0,13%
Planície Costeira Interna	20.470	0,15%	20.741	0,15%	18.174	0,14%
Planície Costeira Externa	15.987	0,12%	16.446	0,12%	14.251	0,11%
Zona Sul	24.141	0,18%	23.959	0,18%	20.368	0,16%
Fora da Região Produtora	26	0,00%	35	0,00%	30	0,00%
Mudança de Uso da Terra e Floresta	203.831	1,51%	142.854	1,06%	327.899	2,57%
Emissões Diretas	204.609	1,52%	142.883	1,06%	328.037	2,57%
Emissões Diretas	(778)	-0,01%	(29)	0,00%	(138)	0,00%

Transporte do Arroz	338.845	2,52%	309.080	2,30%	297.904	2,33%
Transporte Rodoviário	338.845	2,52%	309.080	2,30%	297.904	2,33%
Transporte para o Beneficiamento	25.230	0,19%	25.617	0,19%	25.997	0,20%
Transporte de Arroz Importado para Armazenamento/Beneficiamento	2.167	0,02%	3.073	0,02%	4.017	0,03%
Mercado Interno	292.848	2,17%	238.082	1,77%	229.154	1,79%
Fronteira Oeste	102.957	0,76%	75.870	0,56%	72.851	0,57%
Campanha	45.718	0,34%	41.535	0,31%	42.001	0,33%
Central	36.774	0,27%	28.098	0,21%	27.630	0,22%
Planície Costeira Interna	32.211	0,24%	27.629	0,21%	25.322	0,20%
Planície Costeira Externa	8.664	0,06%	7.943	0,06%	7.311	0,06%
Zona Sul	66.518	0,49%	57.001	0,42%	54.035	0,42%
Fora da Região Produtora	7	0,00%	6	0,00%	5	0,00%
Mercado Externo	18.600	0,14%	42.308	0,31%	38.736	0,30%
Fronteira Oeste	3.720	0,03%	3.451	0,03%	5.574	0,04%
Campanha	167	0,00%	145	0,00%	94	0,00%
Central	4.019	0,03%	5.001	0,04%	5.853	0,05%
Planície Costeira Interna	481	0,00%	710	0,01%	398	0,00%
Planície Costeira Externa	5.046	0,04%	15.535	0,12%	12.857	0,10%
Zona Sul	1.895	0,01%	3.446	0,03%	2.349	0,02%
Fora da Região Produtora	3.271	0,02%	14.019	0,10%	11.610	0,09%
Beneficiamento	3.174.116	23,56%	3.181.299	23,68%	3.282.893	25,71%
Processo de Beneficiamento	3.174.116	23,56%	3.181.299	23,68%	3.282.893	25,71%
Secagem	163.961	1,22%	164.332	1,22%	169.580	1,33%
Processamento	2.850.398	21,16%	2.856.849	21,27%	2.948.082	23,09%
Embalagem	159.757	1,19%	160.118	1,19%	165.232	1,29%
Total Geral	13.470.465	100%	13.433.811	100%	12.766.852	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

As altas emissões associadas ao cultivo do arroz inundado estão relacionadas às emissões relevantes de CH₄ (59%), decorrentes da decomposição anaeróbia de matéria orgânica presente na água. As regiões da fronteira oeste e zona sul são as mais relevantes na média histórica, representando 17% e 10% das emissões totais da cadeia, respectivamente. Entre os anos de 2018 e 2023, as emissões reduziram em 16%, associadas à redução da área plantada (-21%), principalmente nas áreas de cultivo mínimo e convencional.

O método de cultivo do arroz apresenta grande influência nas emissões. O cultivo de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul é predominantemente realizado com sistemas de semeadura de menor impacto ambiental. Esses métodos correspondem, na média histórica analisada, a 82% da área cultivada no estado (IRGA, 2025a), sendo predominante o

cultivo mínimo (antecipado) (63%) e com menor relevância, a pré-germinação (12%) e o plantio direto (7%).

Simulações indicam que, caso a totalidade da área cultivada com arroz irrigado fosse conduzida exclusivamente pelo sistema convencional (com preparo intensivo do solo), as emissões da cadeia produtiva aumentariam, em média, 17%, o que equivale a aproximadamente 1.373.090 tCO₂e.

Esse dado evidencia a importância dos sistemas de manejo conservacionista na mitigação das emissões no setor agrícola, e reforça a relevância dessas práticas no contexto de políticas públicas voltadas à agricultura de baixo carbono e os compromissos estaduais de enfrentamento às mudanças climáticas. A Tabela 9 apresenta as emissões por tipo de cultivo.

Tabela 9: Emissões diretas de CH₄, da cadeia do arroz entre 2018 e 2023, por tipo de cultivo (tCO₂e / %)

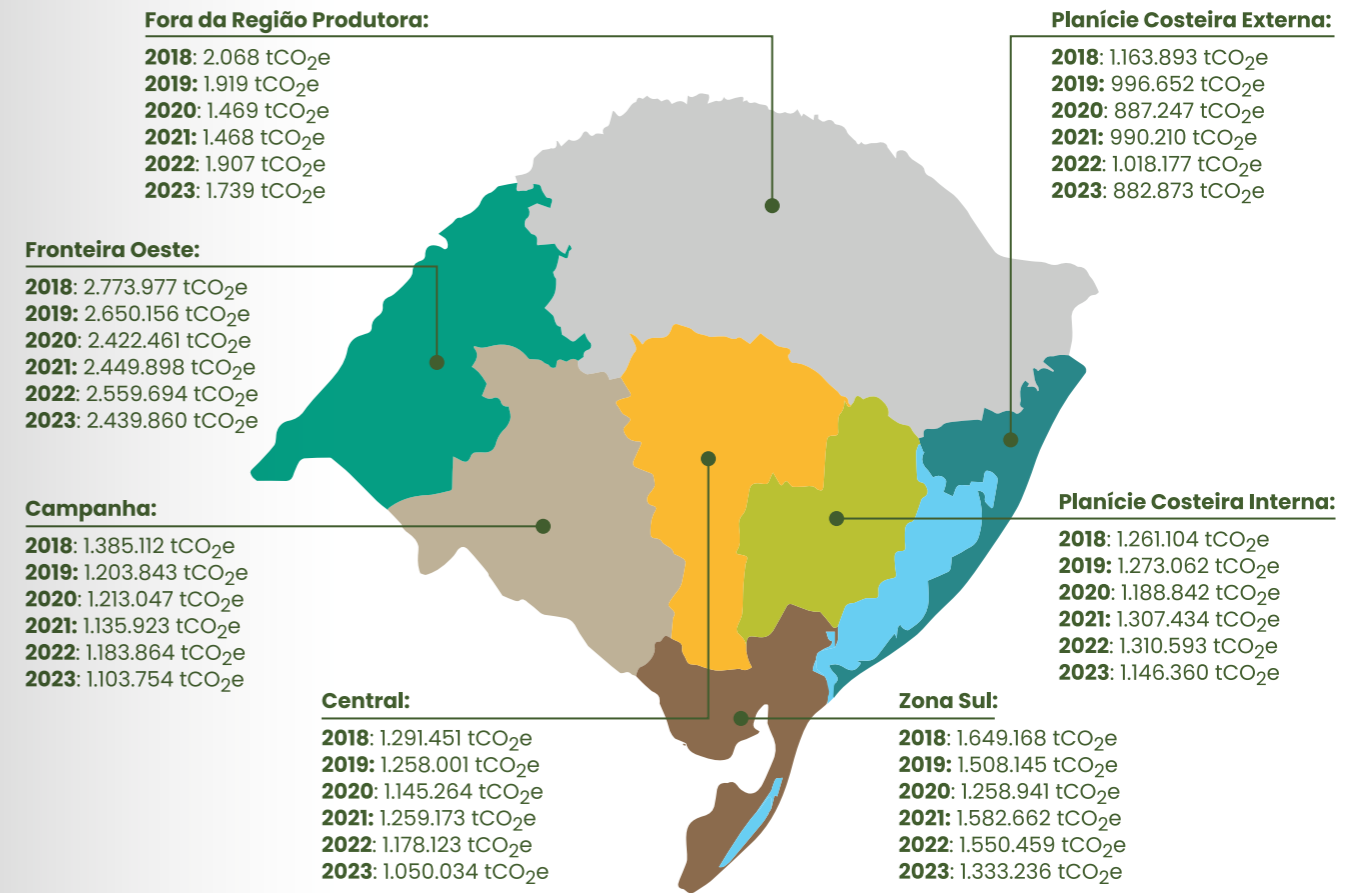
Tipo de Cultivo	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Cultivo Mínimo	5.311.318	58,30	4.715.851	55,41	6.398.916	82,47
Cultivo Convencional	2.606.555	28,61	2.624.569	30,84	17.182	0,22
Outros	1.192.249	13,09	1.169.966	13,75	1.342.649	17,30
Total	9.110.122	100%	8.510.387	100%	7.758.747	100%

Tipo de Cultivo	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Cultivo Mínimo	4.582.332	54,98	4.404.024	52,14	3.298.856	43,12
Cultivo Convencional	1.629.284	19,55	2.010.805	23,81	2.456.346	32,11
Outros	2.122.782	25,47	2.031.008	24,05	1.895.438	24,77
Total	8.334.399	100%	8.445.838	100%	7.650.641	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Na etapa do cultivo do arroz também foram estimadas as emissões provenientes do consumo de óleo diesel e do consumo de energia elétrica na irrigação, que representam 2% e 0,26% das emissões totais da cadeia na média histórica analisada. A Figura 13 apresenta as emissões da etapa de cultivo de arroz, por região produtora.

Figura 13: Emissões da etapa de cultivo de arroz, por região produtora (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

As emissões por solos manejados representam 7%, na média entre os anos de 2018 e 2023, das emissões totais da cadeia.

A ureia possui carbono na sua composição. Quando é aplicada no solo, a ureia passa por hidrólise, liberando amônio para as plantas e CO para a atmosfera. As emissões de CO₂ por aplicação de ureia, representam 1,6% na média histórica. As emissões de CO₂ pela aplicação de Ureia acompanham a variação anual da área cultivada.

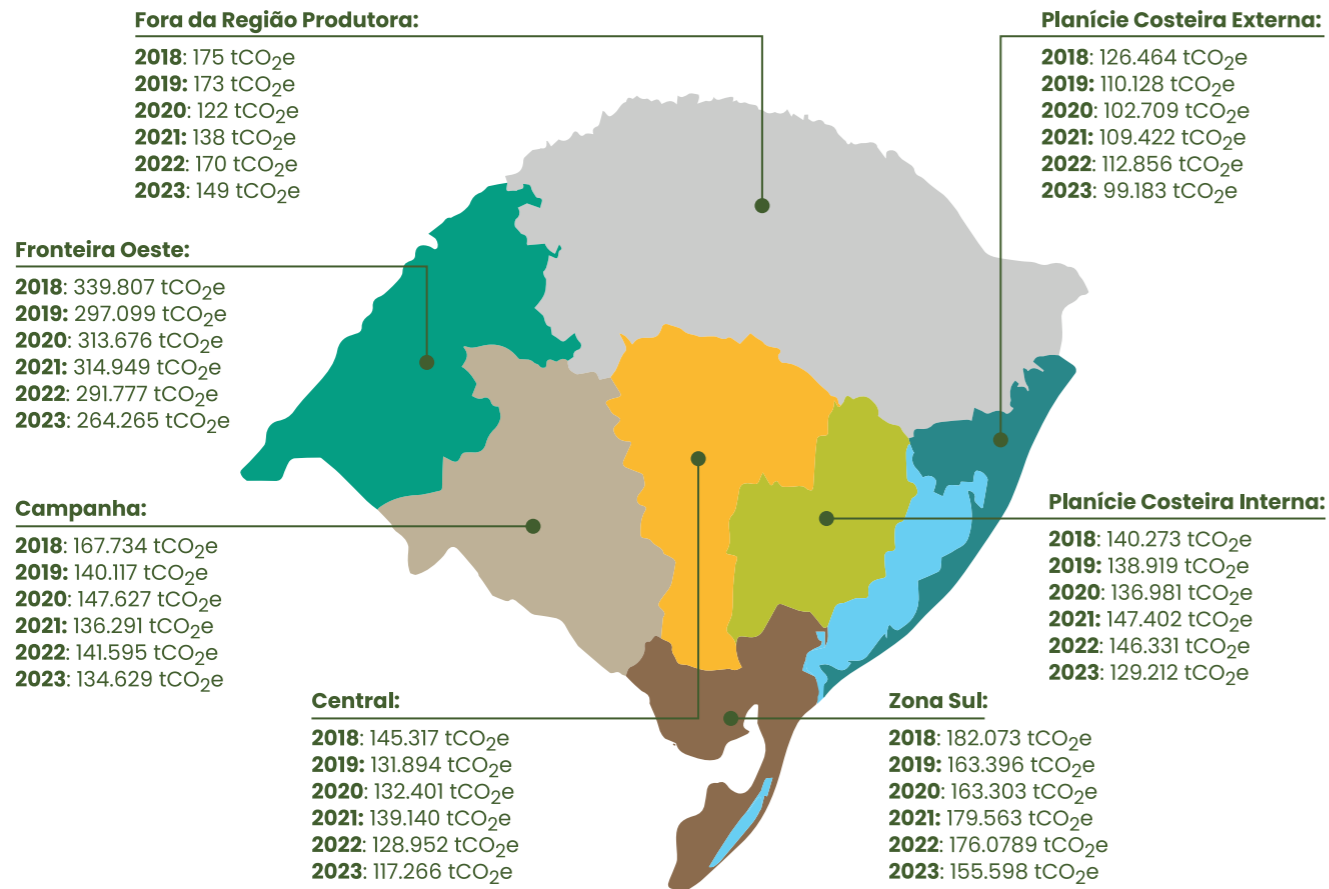
As emissões totais de N₂O pela aplicação de fertilizantes nitrogenados, ou seja, as emissões diretas e indiretas, alcançaram 292.032 tCO₂e (2,3% das emissões totais da cadeia) em 2023. 57% são

decorrentes de emissões diretas - processo de nitrificação e desnitrificação do nitrogênio aplicado ao solo e 43% emissões indiretas - nitrogênio lixiviado.

As emissões diretas e indiretas pela deposição e incorporação de resíduos de colheita no solo representam 3,2% das emissões totais da média histórica (2018 a 2023). As emissões diretas (2,6%) ocorrem pelo aumento de concentração de Nitrogênio (N) no solo e as emissões indiretas (0,6%) estão associadas a lixiviação/escorrimento superficial de N, sendo transformada em N₂O.

A Figura 14 demonstra as emissões da etapa de solo manejados, por região produtora.

Figura 14: Emissões da etapa de solo manejados, por região produtora (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

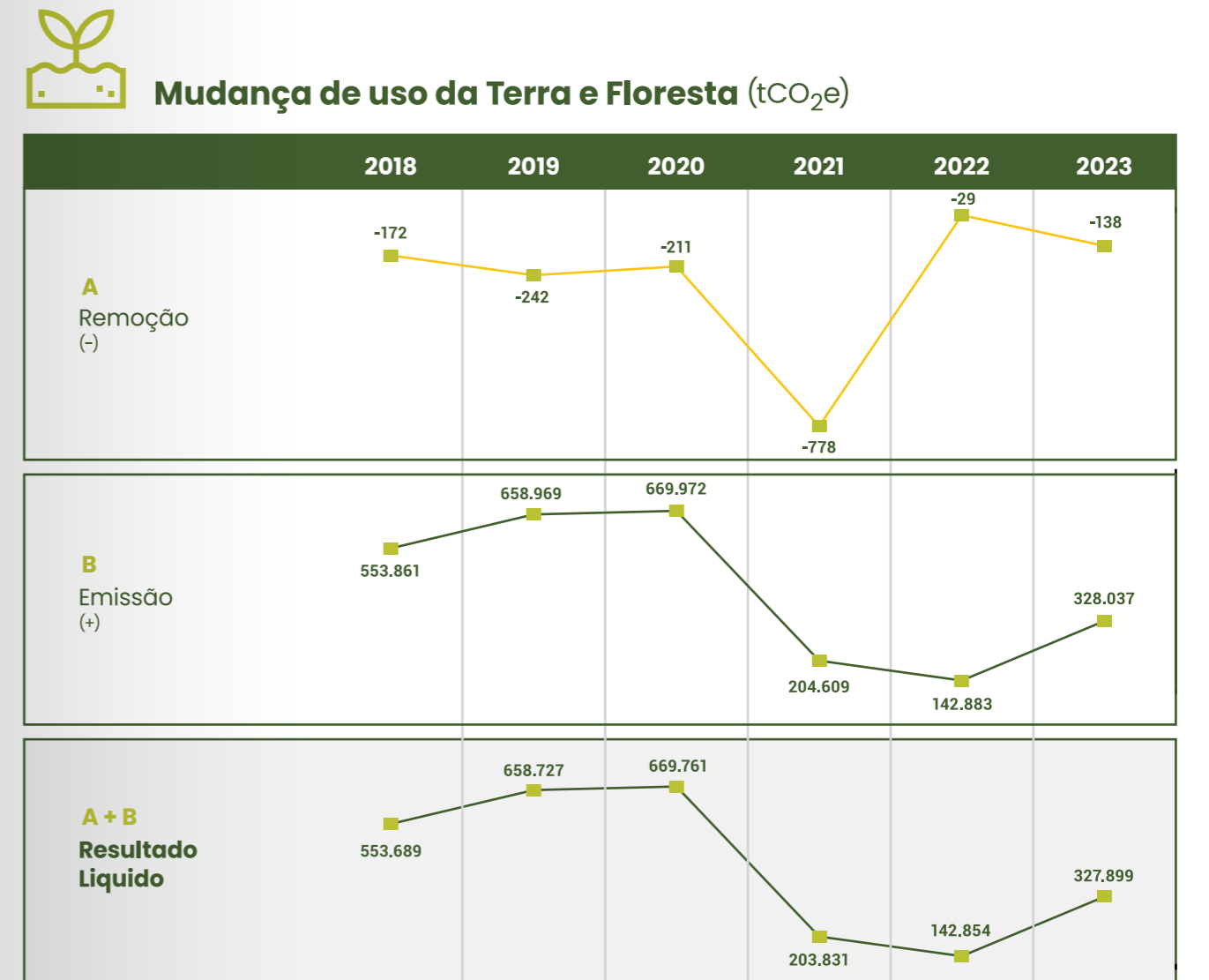
As emissões por mudança de uso da terra e floresta tomou como base as emissões estimadas pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2024a) e representam 3% das emissões totais da cadeia do arroz (média entre os anos de 2018 a 2023). Nessa etapa da cadeia são consideradas as emissões por alterações de uso da terra, carbono orgânico no solo e resíduos florestais, com predominância das alterações que ocorreram em áreas de formação campestre para cultivo de arroz. A remoção de emissão foi em média de 262 tCO₂e na série histórica

analisada, prevalecendo a alteração de áreas de cultivo de arroz para floresta plantada.

Na etapa dos diversos transportes presentes na cadeia do arroz, foram estimadas as emissões por transporte rodoviário, que ocorreram dentro do limite do estado do Rio Grande do Sul, representando 2% das emissões totais da cadeia na média histórica analisada, com predominância o transporte do arroz destinado ao mercado interno (1,8%).

As Figuras 15, 16 e 17 apresentam as emissões e remoções para as etapas da cadeia do arroz.

Figura 15: Emissões/ remoções ano a ano da etapa de mudança de uso da terra e floresta (tCO₂e)



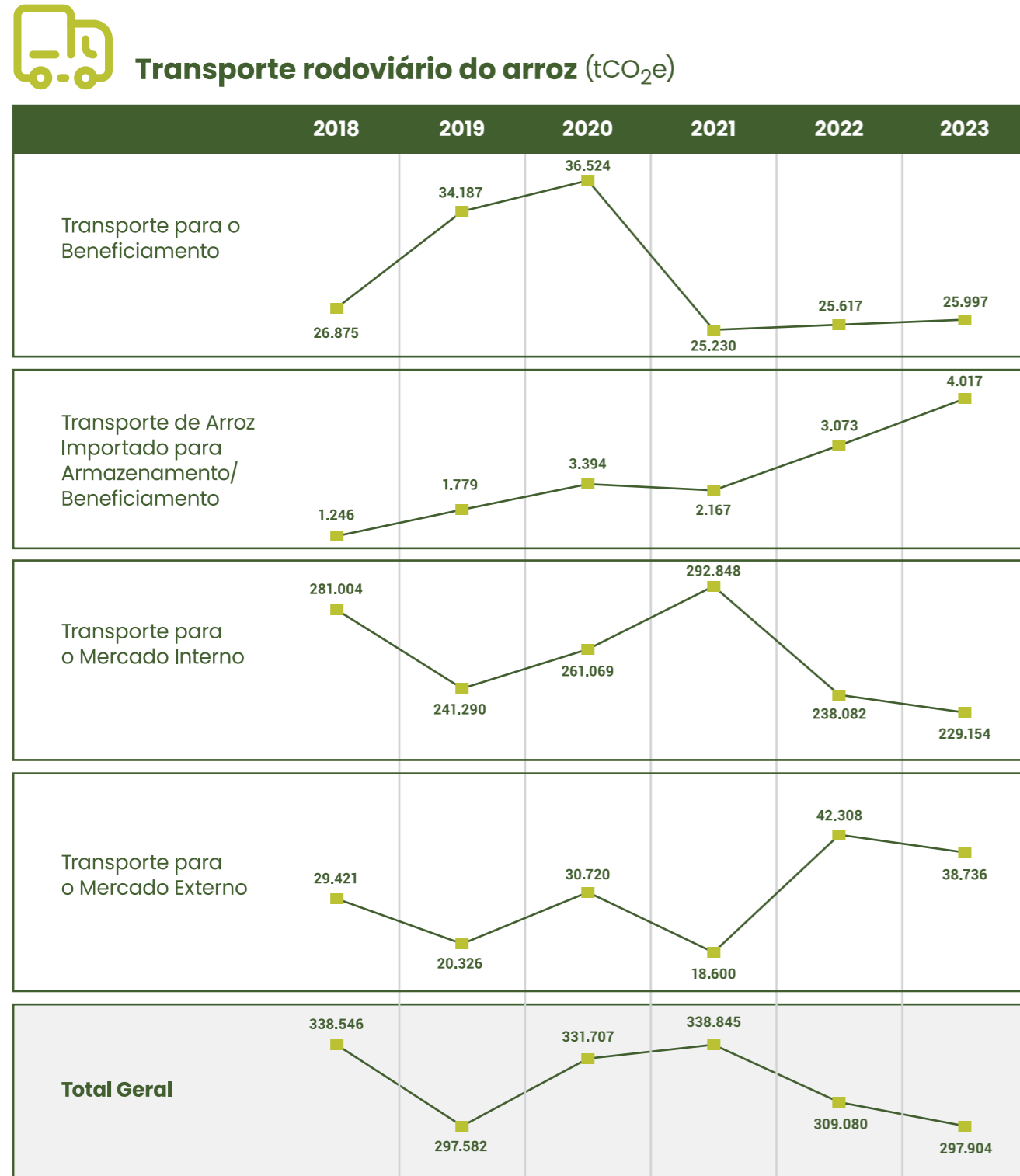
Fonte: Elaboração própria, 2025.

O transporte do arroz destinado ao mercado externo (0,2%) considerou o transporte do município de origem até o porto de Rio Grande.

O processo de beneficiamento representou 26% das emissões totais da cadeia (média entre os anos

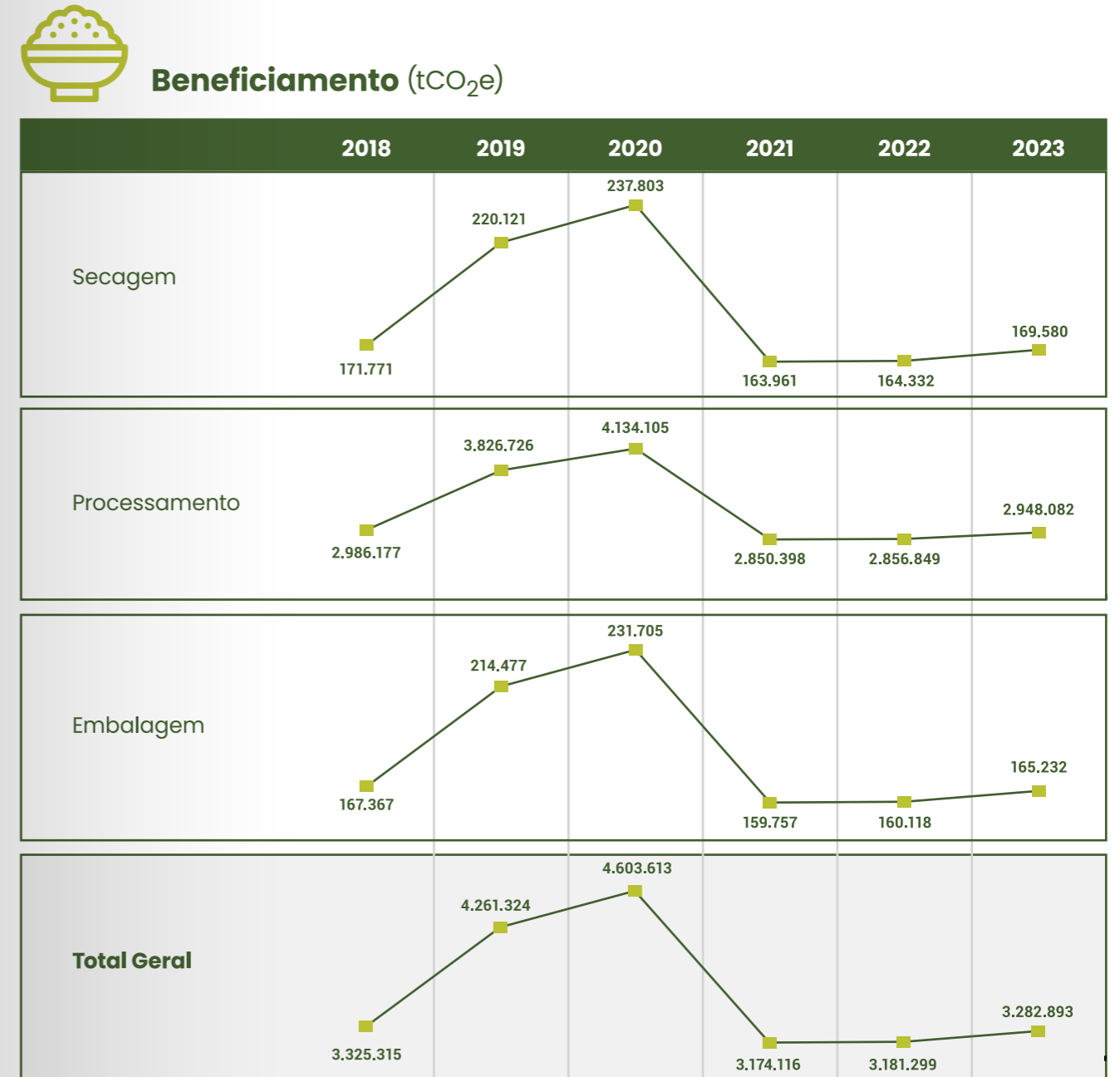
de 2018 e 2023), incluindo as emissões associadas ao processo de secagem (1,3%), processamento (23,2%) e embalagem (1,3%). As emissões acompanham a variação do total de arroz beneficiado anualmente.

Figura 16: Emissões ano a ano das etapas do transporte do arroz (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 17: Emissões do processo de beneficiamento (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.4. PECUÁRIA

4.4.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva

O Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável do Rio Grande do Sul reconhece a cadeia agropecuária como um dos pilares estruturantes da economia estadual, destacando seu potencial para impulsionar a produtividade e fomentar a inovação em produtos e serviços de maior complexidade (Rio Grande do Sul, 2024d).

A pecuária, em suas vertentes de corte e leite, figura como um setor estratégico para o desenvolvimento econômico e social do estado, promovendo a integração regional e oferecendo oportunidades para o avanço de práticas sustentáveis e resilientes.

O Rio Grande do Sul possui o sétimo maior rebanho bovino do Brasil e, de acordo com a Pesquisa Pecuária Municipal do IBGE (2024e), no triênio 2020-2022, registrou uma produção de 11 milhões de cabeças em média. Na pecuária de corte, os animais são criados em sistemas extensivos ou confinados para maximizar o ganho de peso. Na de leite, há maior ênfase no manejo nutricional e na ordenha frequente para garantir a qualidade e a produtividade leiteira. No setor da pecuária, são empregadas cerca de 15,5 mil pessoas, e a agroindústria gaúcha ligada à pecuária emprega mais 9,7 mil pessoas do setor

de abate de reses (exceto suínos), 7,5 mil no setor de fabricação de carnes (todos os tipos, incluindo bovinos) e 10,6 mil no setor de laticínios (Rio Grande do Sul, 2024c).

Em 2023, foram abatidas cerca de 2 milhões de cabeças de bovinos no estado (Rio Grande do Sul, 2024e). A cadeia produtiva do gado de corte é uma das mais tradicionais do estado, com o rebanho bovino concentrado no oeste e no sul do estado, associado principalmente a ambientes característicos do bioma Pampa, e integrado à produção de arroz nas várzeas dos rios. A atividade possui grande importância econômica e social, com poder de integração regional (Rio Grande do Sul, 2024e).

A cadeia de pecuária de corte do estado do Rio Grande do Sul está ilustrada na Figura 18.

Em termos de GEE, estimativas do inventário de GEE do estado do Rio Grande do Sul apontam que as emissões de fermentação entérica e manejo de dejetos dos bovinos de corte representou 23,7% das emissões brutas do RS em 2023 (ICLEI, 2025). A cadeia da pecuária de corte, assim como a da soja, está sob crescente escrutínio internacional, particularmente em função de regulamentações ambientais como a regulação da União Europeia (EU) 2023/1115 sobre produtos livres de desmatamento, aprovada em 2023. Este regulamento proíbe a importação de produtos

vinculados ao desmatamento e à degradação florestal, impondo desafios e oportunidades para a adaptação dos sistemas produtivos.

Segundo o Painel do Agronegócio do Rio Grande do Sul de 2023, as exportações de produtos de origem animal representaram 21,3% do total das vendas externas do agronegócio gaúcho em 2022 (US\$ 3,4 Bi) (Rio Grande do Sul, 2024c). Neste mesmo ano, a carne de gado produzida no RS foi vendida para mais de 85 países, representando 11,5% do total de exportações de carnes do estado. A China foi a maior compradora de carne bovina embarcada ao exterior (38,6%), seguida do Reino Unido (22%) e da União Europeia (3,9%) (Rio Grande do Sul, 2024c).

Na pecuária leiteira, o Rio Grande do Sul figura como o terceiro maior produtor de leite do Brasil, contribuindo com 12% da produção nacional, segundo dados do IBGE (2024d). Em 2023, o rebanho bovino de vacas leiteiras foi de 1,04 milhão de cabeças, resultando em uma produção anual de 4,11 bilhões de litros de leite em 2023 (IBGE, 2024d; 2024e).

A cadeia de pecuária de leite do estado do Rio Grande do Sul está ilustrada na Figura 19.

Em 2023, o RS exportou produtos lácteos para 45 países, ocupando a terceira posição do ranking de estados exportadores do país. Os principais destinos de exportação foram Uruguai (47,3%), Chile (24,2%) e Paraguai (8,3%) (Rio Grande do Sul, 2024e).

Em termos de produtividade, o estado ocupa a 2ª posição nacional na produção de leite por animal, com uma média de 3.942 litros/vaca/ano,

em 2023 (IBGE, 2024d, 2024e). Historicamente, a produtividade da região sul é a maior do País (Rocha; Carvalho; Resende, 2020).

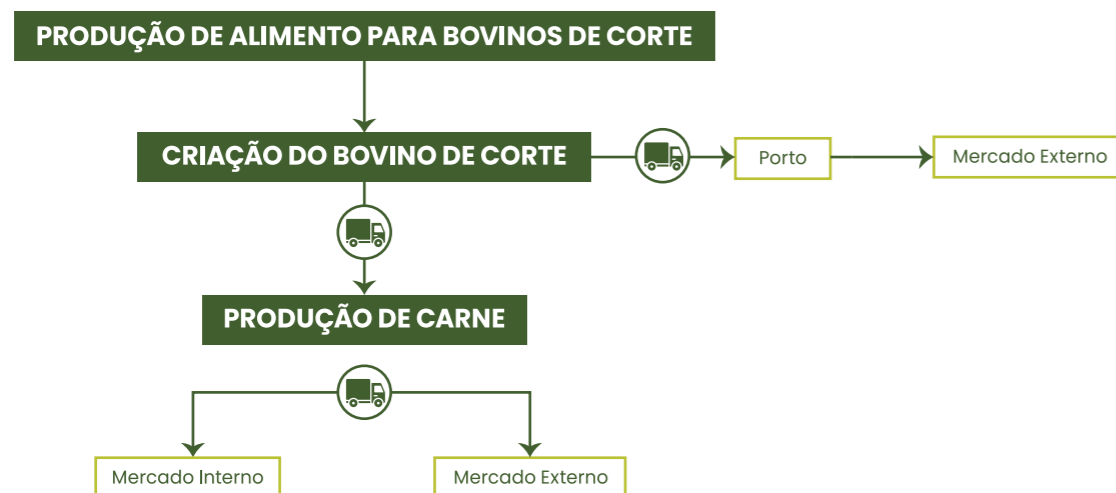
O cooperativismo é uma característica da atividade, envolvendo inúmeros produtores no campo e gerando empregos nos demais segmentos da cadeia. Aproximadamente 33 mil propriedades em território gaúcho têm a atividade leiteira como uma fonte de renda, abrangendo quase todos os municípios do estado (Rio Grande do Sul, 2024e).

As emissões da pecuária leiteira representaram 3,6% das emissões brutas do Rio Grande do Sul em 2023 (ICLEI, 2025). Considerando a cadeia de produtos derivados do leite, como queijo, logurte e manteiga, em uma perspectiva de ciclo de vida que considera características de produção globais, as emissões que ocorrem até a produção do leite na fazenda correspondem, em média, a mais de 90% das emissões dos produtos (Ecoinvent, 2024).

De forma geral, a quantidade mais expressiva de emissões de GEE da agropecuária é decorrente da produção animal, mais especificamente da fermentação entérica de animais ruminantes (Estevam; Pavão; Assad, 2023). Os sistemas de manejo e o armazenamento de dejetos animais também afetam as emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) e são também representativos.

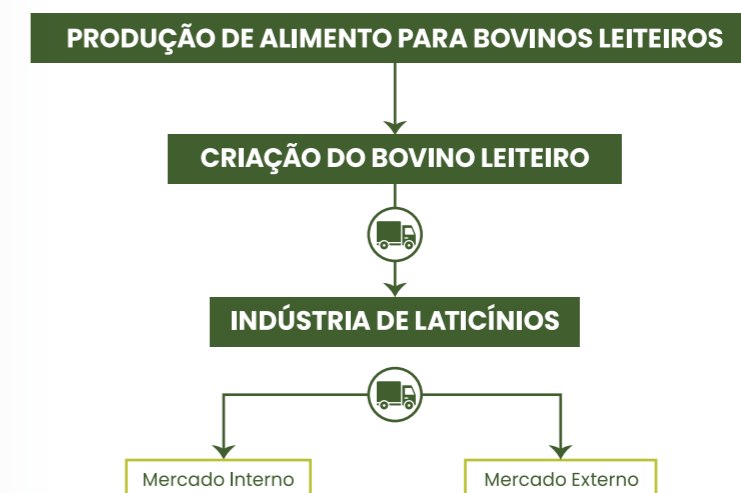
Nesse contexto, a pecuária emerge como uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa no Rio Grande do Sul. Ao avaliar as atividades do setor é fundamental levar em conta os distintos

Figura 18: Cadeia dos bovinos de corte do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 19: Cadeia dos bovinos leiteiros do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria, 2025.

sistemas de produção e as diversas práticas de manejo adotadas. O aumento da produtividade agropecuária no estado aliado à resiliência climática e à descarbonização podem impulsionar o desenvolvimento sustentável, sendo necessário fomentar práticas agropecuárias sustentáveis e capacitar produtores rurais.

Também é importante considerar que abordagens metodológicas em constante evolução científica indicam a necessidade de mais estudos com foco em características locais. Essas abordagens apontam para um volume significativo de remoções de carbono em pastagens de alto vigor e em áreas manejadas com sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Reconhecer e incorporar essas dinâmicas pode contribuir para uma estimativa mais precisa do balanço de emissões do setor agropecuário.

4.4.2. Recorte Metodológico da Cadeia Produtiva

Para a contabilização das emissões de GEE da cadeia de pecuária de corte, o seguinte recorte metodológico foi adotado:

- Emissões e remoções associadas à alimentação do gado (uso de soja para produção de ração; uso de fertilizantes nas pastagens; mudança do uso

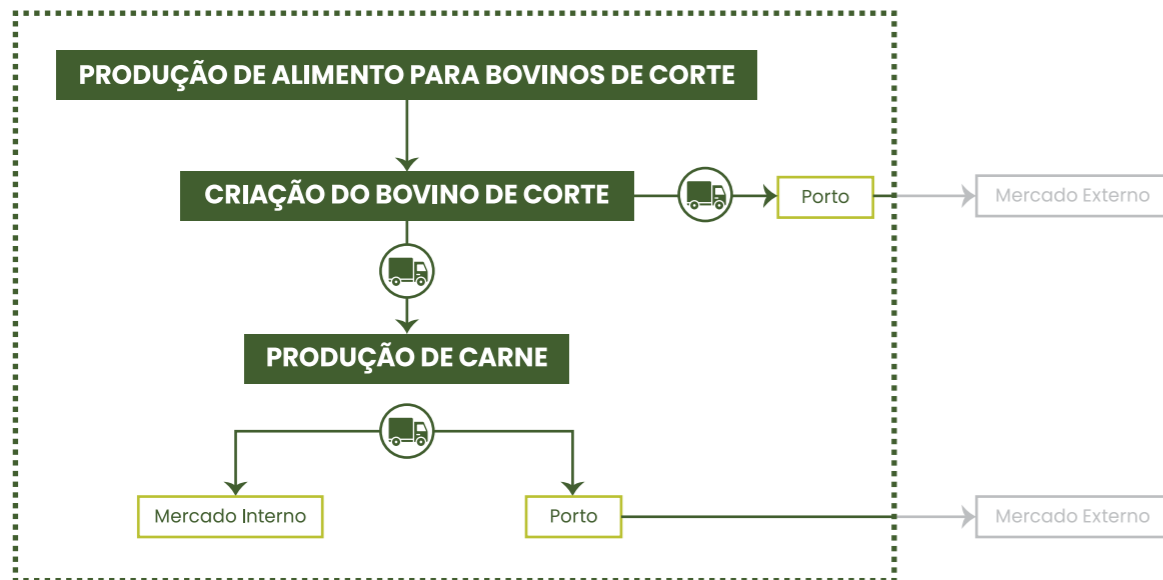
da terra; queima no pasto; vigor das pastagens; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; resíduos agrícolas em pastagens);

- Criação do rebanho bovino (fermentação entérica e emissões de dejetos);
- Transporte de bovinos para o porto;
- Transporte de bovinos para os frigoríficos;
- Produção de carne bovina nos frigoríficos;
- Transporte da carne bovina para o mercado consumidor interno e ao porto para exportação.

Para a contabilização das emissões de GEE da cadeia de pecuária de leite, o seguinte recorte foi adotado:

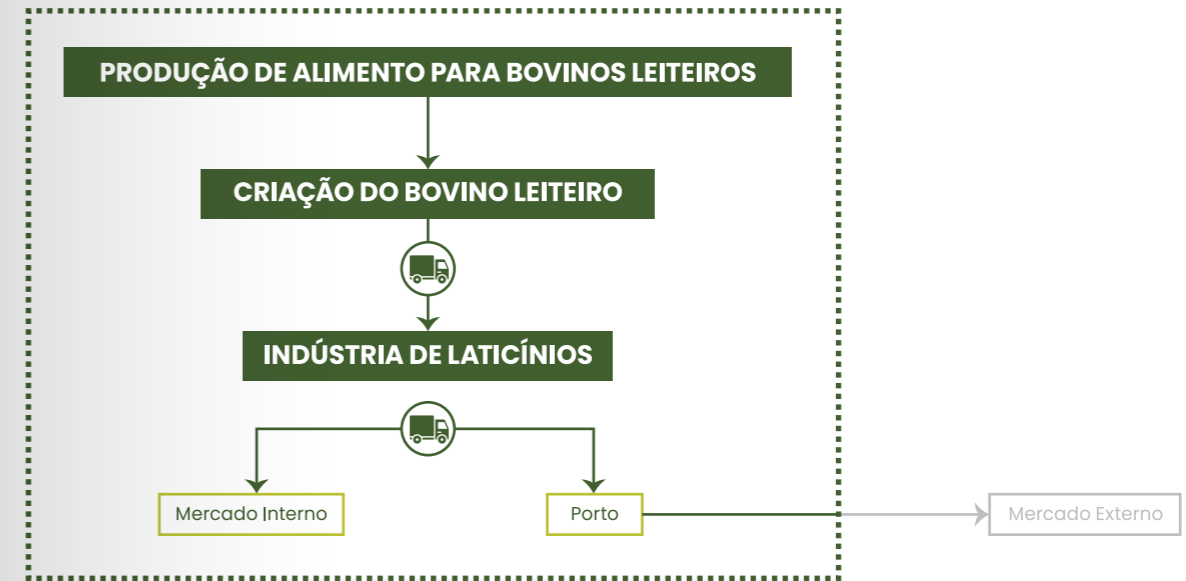
- Produção de alimento para o rebanho bovino leiteiro (uso de soja para produção de ração, uso de fertilizantes nas pastagens, mudança do uso da terra; queima no pasto, vigor das pastagens, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; resíduos agrícolas em pastagens);
- Criação do rebanho bovino leiteiro (fermentação entérica e emissões de dejetos);
- Transporte do leite até a indústria;
- Processamento e produção de produtos lácteos (ex. queijo, manteiga, etc.);
- Transporte de produtos para o mercado consumidor interno e ao porto para exportação

Figura 20: Recorte sugerido para contabilização das emissões de GEE da cadeia dos bovinos de corte



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 21: Recorte sugerido para contabilização das emissões de GEE da cadeia dos bovinos leiteiros



Fonte: Elaboração própria, 2025.

A Figura 20 e 21 apresentam os recortes para contabilização das emissões de GEE da cadeia de bovinos de corte e bovinos leiteiros.

4.4.3. Justificativas para Recorte Metodológico

Para os bovinos de corte, foram estimadas emissões e remoções para todas as etapas da cadeia. Em razão da ausência de informações disponíveis sobre os insumos utilizados para a produção de ração para o rebanho bovino de corte, a estimativa da produção de alimentos ficou restrita ao uso de derivados de soja, pelo fato de a cadeia da soja ser também contemplada nesse estudo.

Com relação aos bovinos leiteiros, da mesma forma, a estimativa cobriu todas as etapas relevantes da cadeia, embora tenha sido parcial para a produção de alimentos (por motivo similar aos bovinos de corte) e processamento e produção na Indústria de laticínios. No caso do processamento de leite

na indústria de laticínios, a estimativa de emissões contemplou mais de 80% do volume total de laticínios produzido no estado.

4.4.4. Resultados

Não foi possível subdividir as emissões e remoções associadas à mudança de uso da terra e ao uso de fertilizantes aplicados às pastagens entre as cadeias dos bovinos de corte e bovinos leiteiros. Por essa razão, na apresentação de resultados, estas emissões são exibidas separadamente. Para as demais emissões, o resultado é apresentado por cadeia: bovinos de corte e bovinos leiteiros. Os resultados obtidos a partir da aplicação de abordagens metodológicas com alto grau de incerteza, ainda não adotadas pelo Inventário Nacional de Emissões de GEE, denominadas neste material de abordagens em construção, também são apresentadas separadamente.

4.4.4.1. Pastagens

A etapa da cadeia associada às pastagens, que inclui a mudança de uso da terra, os resíduos agrícolas em pastagens e a aplicação de fertilizantes, mostrou-se relevante para a pecuária como um todo.

Considerando as emissões totais associadas aos bovinos, incluindo as desta etapa, estima-se que, entre 2018 e 2023, as pastagens tenham representado entre 7,9% e 9,4% do total dessas emissões. Essas emissões concentram-se na aplicação de fertilizantes, principalmente nitrogenados, nas pastagens (entre 77,9% e 89,7% das emissões de pastagens). Esta atividade gera, principalmente, uma emissão de N₂O para a atmosfera, o qual tem um alto potencial de aquecimento global, se comparado ao CO₂.

As emissões associadas à mudança do uso da terra são decorrentes, principalmente, da conversão de área de formação florestal e formação campestre, dos biomas da Mata Atlântica e Pampa, em pastagem, o que representou entre 81% e 95% das conversões que geraram emissões de GEE. As remoções decorrentes de áreas convertidas, como conversão de outras áreas não vegetadas em pastagem, não são tão relevantes, totalizando menos de 0,5% das emissões em todos os anos avaliados.

Os resíduos agrícolas em pastagens apresentaram uma baixa relevância na cadeia das pastagens, representando menos de 1,3% em todos os anos analisados.

A Tabela 10 apresenta as emissões associadas às pastagens.

Tabela 10: Emissões associadas às pastagens

Etapas da Cadeia de Pastagens	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Mudança de Uso da Terra	218.486	9,1%	284.825	11,8%	263.456	11,3%
Emissões	219.169	9,1%	285.442	11,9%	263.879	11,3%
Remoções	-683	0,0%	-617	0,0%	-423	0,0%
Fertilizantes Aplicados às Pastagens	2.154.002	89,7%	2.093.808	87,0%	2.043.685	87,6%
Resíduos Agrícolas das Pastagens	27.712	1,2%	26.903	1,1%	26.664	1,1%
Total Geral	2.400.200	100%	2.405.537	100%	2.333.805	100%

Etapas da Cadeia de Pastagens	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Mudança de Uso da Terra	223.292	9,6%	539.014	21,1%	318.767	13,9%
Emissões	223.623	9,6%	539.272	21,1%	319.062	13,9%
Remoções	-331	0,0%	-258	0,0%	-295	0,0%
Fertilizantes Aplicados às Pastagens	2.068.958	89,2%	1.994.058	77,9%	1.952.865	85,0%
Resíduos Agrícolas das Pastagens	26.239	1,1%	26.131	1,0%	26.356	1,1%
Total Geral	2.318.490	100%	2.559.203	100%	2.297.988	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.4.4.1.1. Abordagens em Construção associadas às pastagens

Nos cálculos associados às pastagens, havia fontes cujas metodologias e fatores de emissão disponíveis apresentavam um elevado nível de incerteza. Essa incerteza decorre de diversos fatores como: limitação dos fatores de emissão utilizados, falta de dados na literatura e dificuldades em realizar uma alocação precisa das emissões à cadeia da pecuária. Essas etapas não foram consideradas no Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (com exceção da mudança do uso da terra associada ao mosaico de agricultura e pastagem), porém, foram estimadas e reportadas em separado pelo SEEG (2024), que as classifica como emissões ou remoções NCI (não contabilizadas no inventário). Por essa razão, foi realizado um recorte na cadeia de pastagens, e essas estimativas são reportadas de forma separada, servindo apenas para fins informativos.

Neste recorte da cadeia de valor, foram consideradas quatro etapas principais: (I) a conversão do uso da terra para mosaicos de agricultura e pastagem; (II) as emissões e remoções de cobertura do solo relacionadas ao vigor das pastagens; (III) as remoções de carbono associadas aos sistemas integrados de lavoura, pecuária e floresta (ILPF); e (IV) as emissões associadas às queimadas de pastagem no Estado.

As emissões estimadas concentram-se principalmente nas transições de uso da terra para mosaicos de agricultura e pastagem, que

correspondem de 78,7% a 89,2% das emissões atribuídas a este recorte da cadeia nos anos analisados. Essas emissões se concentram principalmente nas transições de formação campestre e de formação florestal para os mosaicos de agricultura e pastagem, que juntas representam 82,1% das emissões totais do mosaico no período temporal analisado.

Observa-se um decréscimo de 23,6% na área de pastagens de alto vigor no estado entre os anos de 2018 e 2023. Esse decréscimo pode ser atribuído tanto à redução da área total de pastagens no estado quanto ao avanço da degradação dos pastos, evidenciado pelo aumento de 30% na área de pastagens de baixo vigor no mesmo período.

As remoções de carbono da cadeia nessas abordagens em construção concentram-se principalmente na cobertura de pastagens de alto vigor, que acumulam 59,5% das remoções totais no recorte temporal. Já as remoções associadas aos sistemas de ILPF representaram 40,5% das remoções no período.

As remoções líquidas proporcionadas pelas abordagens em construção são relevantes em comparação às emissões da cadeia calculadas pela abordagem convencional. Caso as abordagens em construção fossem incorporadas ao cálculo das emissões de toda a cadeia da pecuária, incluindo bovinos de corte, bovinos leiteiros e pastagens, em 2023, haveria uma redução total de 25,7% nas emissões.

A Tabela 11 apresenta as emissões e remoções das abordagens em construção.

Tabela 11: Emissões e Remoções (tCO₂e) das abordagens em construção entre 2018 e 2023

Etapas do Recorte	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Abordagens em Construção - Remoções	-13.773.324	100%	-12.861.520	100%	-12.240.301	100%
Pastagens de alto vigor	-9.110.827	66,1%	-7.959.898	61,9%	-7.128.815	58,2%
Remoções associadas à Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	-4.662.497	33,9%	-4.901.622	38,1%	-5.111.487	41,8%
Abordagens em Construção - Emissões	7.227.695	100%	9.713.268	100%	9.789.799	100%
Mudança de uso da terra associada aos mosaicos	6.289.115	87,0%	8.604.533	88,6%	8.488.079	86,7%
Queimada de Pastagens	31	0,0%	81	0,0%	30	0,0%
Pastagens de baixo e médio vigor	938.549	13,0%	1.108.654	11,4%	1.301.691	13,3%
Pastagens de baixo vigor	663.934	9,2%	817.644	8,4%	1.002.644	10,2%
Pastagens de médio vigor	274.615	3,8%	291.011	3,0%	299.046	3,1%
Total Geral	-6.545.629	-	-3.148.251	-	-2.450.502	-

Etapas do Recorte	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Abordagens em Construção - Remoções	-12.131.875	100%	-12.429.768	100%	-12.472.018	100%
Pastagens de alto vigor	-6.895.295	56,8%	-7.131.953	57,4%	-6.961.665	55,8%
Remoções associadas à Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	-5.236.580	43,2%	-5.297.815	42,6%	-5.510.353	44,2%
Abordagens em Construção - Emissões	11.728.107	100%	8.069.532	100%	5.358.989	100%
Mudança de uso da terra associada aos mosaicos	10.459.912	89,2%	6.917.819	85,7%	4.219.425	78,7%
Queimada de Pastagens	34	0,0%	41	0,0%	39	0,0%
Pastagens de baixo e médio vigor	1.268.161	10,8%	1.151.672	14,3%	1.139.525	21,3%
Pastagens de baixo vigor	973.776	8,3%	875.898	10,9%	867.113	16,2%
Pastagens de médio vigor	294.385	2,5%	275.775	3,4%	272.412	5,1%
Total Geral	-403.768	-	-4.360.236	-	-7.113.029	-

Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.4.4.2. Bovinos de Corte

A cadeia de bovinos de corte foi a mais relevante em termos de emissões para todo o setor da pecuária no Rio Grande do Sul, concentrando entre 75,8% e 78,3% das emissões totais do setor no período de 2018 a 2023. Esse predomínio se deve à composição do rebanho estadual, no qual os bovinos de corte representam aproximadamente 90% do total.

As principais emissões da cadeia estão associadas à etapa de criação dos animais, que abrange a fermentação entérica e as emissões de dejetos. Essa etapa responde por cerca de 98,7% das emissões da cadeia de bovinos de corte no período analisado e varia entre 74,8% e 77,3% das emissões totais da pecuária.

As emissões da cadeia de bovinos de corte concentram-se predominantemente na fermentação entérica, que responde por aproximadamente 86,5% das emissões da cadeia de bovinos de corte entre 2018 e 2023. Essa fonte é diretamente proporcional à quantidade de animais, refletindo a distribuição do rebanho no território estadual. A maior concentração de emissões ocorre na região Sudoeste Rio-Grandense, que abrigava cerca de 37% dos bovinos de corte do estado nos anos analisados, seguida pelas regiões Sudeste Rio-Grandense, com aproximadamente 17%, e Noroeste Rio-Grandense, com cerca de 14% (ver tabela 13).

Nas emissões dos dejetos dos bovinos de corte, a fonte mais representativa de emissões são os dejetos bovinos depositados em pastagens (dejetos não manejados), que representam 70% das emissões de CO₂e de dejetos do período. Esse acúmulo de emissões reside principalmente no fato do RS ter como prática comum na criação de bovinos de corte a exploração de pastagens de maneira extensiva (Brasil, 2020), ou seja, animais não confinados.

A etapa de alimentação apresentou a menor contribuição para as emissões da cadeia de bovinos

de corte, correspondendo a apenas 0,1% do total. Essa baixa representatividade pode decorrer da limitação metodológica adotada, que restringe o cálculo das emissões às rações à base de soja. Tal restrição deve-se à ausência de dados consistentes na literatura sobre os demais insumos utilizados na formulação das rações e emissões da alimentação dos bovinos num contexto geral.

O transporte de bovinos de corte por modal rodoviário, seja para movimentações durante a criação do bovino como engorda e cria, seja para exportação ou abate, representou uma parcela relativamente pequena das emissões da cadeia (0,3% para todos os anos). A principal parcela das emissões está na movimentação durante a criação, principalmente para engorda (entre 77,2% e 85,1% da movimentação dos bovinos vivos), retorno de aglomeração (entre 2,3% e 5,3% da movimentação dos bovinos vivos) e cria (entre 1,8% e 4,4% da movimentação dos bovinos vivos). Em seguida, as emissões da movimentação para o abate representaram aproximadamente 0,1% para todos os anos. Já as emissões do transporte dos bovinos vivos para o porto para exportação representaram menos de 0,003% em todos os anos avaliados.

As emissões estimadas da etapa da cadeia que representa o abate e produção de carne nos frigoríficos totalizaram menos de 0,8% das emissões da cadeia. Estas emissões são provenientes, principalmente, do tratamento de efluentes, da compra de energia elétrica e do consumo de combustíveis para geração de calor e energia. Já as emissões do transporte da carne para o mercado corresponderam a aproximadamente 0,2% das emissões estimadas da cadeia em todos os anos analisados.

As Tabelas 12 e 13 apresentam os resultados consolidados para bovinos de corte, por etapa da cadeia produtiva e as emissões de fermentação entérica por mesorregião do estado do RS.

Tabela 12: Emissões (tCO₂e) da cadeia de Bovinos de Corte entre 2018 e 2023

Etapas da Cadeia de Bovinos de Corte	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Alimentação dos bovinos	29.030	0,1%	27.185	0,12%	23.389	0,1%
Criação	22.700.351	98,7%	22.022.742	98,7%	21.624.873	98,7%
Fermentação Entérica	19.901.099	86,5%	19.312.641	86,6%	18.967.707	86,6%
Emissões de Dejetos	2.799.252	12,2%	2.710.101	12,1%	2.657.166	12,1%
Movimentação dos bovinos	63.994	0,3%	60.839	0,3%	63.982	0,3%
Frigoríficos	179.886	0,8%	168.359	0,8%	166.840	0,8%
Transporte da Carne	36.829	0,2%	34.180	0,2%	34.193	0,2%
Total Geral	23.010.090	100%	22.313.305	100%	21.913.277	100%

Etapas da Cadeia de Bovinos de Corte	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Alimentação dos bovinos	13.800	0,1%	21.965	0,1%	18.217	0,1%
Criação	20.205.618	98,8%	20.757.229	98,8%	21.440.683	98,8%
Fermentação Entérica	17.722.363	86,7%	18.204.661	86,7%	18.800.539	86,6%
Emissões de Dejetos	2.483.255	12,1%	2.552.568	12,1%	2.640.144	12,2%
Movimentação dos bovinos	54.384	0,3%	57.071	0,3%	55.505	0,3%
Frigoríficos	139.305	0,7%	141.637	0,7%	157.183	0,7%
Transporte da Carne	31.065	0,2%	31.180	0,1%	32.010	0,1%
Total Geral	20.444.172	100%	21.009.081	100%	21.703.598	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela 13: Estimativa de emissões, em tCO₂e, decorrentes da fermentação entérica de bovinos de corte

Mesorregião	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Centro Ocidental Rio-Grandense	2.730.136	13,7%	2.587.634	13,4%	2.534.182	13,4%
Centro Oriental Rio-Grandense	908.608	4,6%	959.891	5,0%	923.006	4,9%
Metropolitana de Porto Alegre	1.651.594	8,3%	1.587.857	8,2%	1.480.911	7,8%
Nordeste Rio-Grandense	1.278.734	6,4%	1.229.448	6,4%	1.240.597	6,5%
Noroeste Rio-Grandense	2.673.352	13,4%	2.575.644	13,3%	2.569.165	13,5%
Sudeste Rio-Grandense	3.313.589	16,7%	3.183.968	16,5%	3.140.457	16,6%
Sudoeste Rio-Grandense	7.345.087	36,9%	7.188.199	37,2%	7.079.391	37,3%
Total Geral	19.901.099	100%	19.312.641	100%	18.967.707	100%

Mesorregião	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Centro Ocidental Rio-Grandense	2.388.860	13,5%	2.270.580	12,5%	2.368.200	12,6%
Centro Oriental Rio-Grandense	897.505	5,1%	921.053	5,1%	955.862	5,1%
Metropolitana de Porto Alegre	1.388.620	7,8%	1.461.431	8,0%	1.533.578	8,2%
Nordeste Rio-Grandense	1.074.633	6,1%	1.181.121	6,5%	1.269.939	6,8%
Noroeste Rio-Grandense	2.454.018	13,8%	2.439.111	13,4%	2.512.985	13,4%
Sudeste Rio-Grandense	2.846.085	16,1%	3.024.386	16,6%	3.116.080	16,6%
Sudoeste Rio-Grandense	6.672.641	37,7%	6.906.978	37,9%	7.043.896	37,5%
Total Geral	17.722.363	100%	18.204.661	100%	18.800.539	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.4.4.3. Bovinos Leiteiros

Na cadeia dos bovinos leiteiros, a etapa de criação dos animais constitui a principal fonte de emissões, concentrando entre 87,1% e 89,1% do total da cadeia.

A fermentação entérica representa na cadeia de bovinos leiteiros entre 62,3% e 63,7% das emissões no período analisado. Essas emissões apresentaram uma redução de 25,7%, principalmente em decorrência da redução de 23,6% do rebanho leiteiro do estado.

As emissões decorrentes da fermentação entérica dos bovinos leiteiros apresentam uma distribuição territorial distinta daquela observada na cadeia de bovinos de corte, evidenciando as principais regiões produtoras de leite no estado. No caso dos bovinos leiteiros, as emissões concentram-se predominantemente na região Noroeste Rio-Grandense, que concentrou mais de 70% do rebanho lactante do estado ao longo de toda a série histórica analisada. Em seguida, destacam-se a região Nordeste e a região Centro Oriental Rio-Grandense.

As emissões de dejetos dos bovinos leiteiros representaram entre 24,4% e 25,4% das emissões da cadeia leiteira nos anos analisados, sendo a segunda fonte mais representativa. Assim como para os bovinos de corte, o cálculo das emissões provenientes da alimentação dos bovinos leiteiros foi restrito somente às rações derivadas da soja e teve baixa significância, representando menos de 2% das emissões da cadeia de bovinos leiteiros durante todo o período analisado.

As emissões decorrentes do transporte dos bovinos por modal rodoviário é a etapa menos relevante para os bovinos leiteiros, tendo sido estimada em menos de 500 tCO₂e em todos os anos avaliados e representado menos de 0,02% da cadeia em todos os anos. Já as emissões estimadas da movimentação do leite produzido até a indústria de laticínios representaram entre 1,2% e 1,6% das emissões da cadeia.

As emissões da produção dos produtos derivados do leite foram a segunda fonte mais emissora da cadeia dos bovinos leiteiros, atrás apenas da etapa de criação dos bovinos (fermentação entérica e emissões de dejetos), responsável por 6,6% a 8,8% das emissões da cadeia. Os produtos que mais impactaram as emissões desta etapa foram produtos lácteos UHT (49% das emissões da etapa), produtos lácteos em pó (37% das emissões da etapa) e queijo não maturado, a exemplo do queijo muçarela (9% das emissões da etapa).

Por fim, a última etapa da cadeia, o transporte dos laticínios até o cliente, correspondeu a entre 1,1% e 1,5% da cadeia dos bovinos leiteiros, obtendo um resultado similar ao do transporte de leite cru.

As tabelas 14 e 15 apresentam as emissões totais associadas aos bovinos leiteiros, e as emissões de fermentação entérica do rebanho bovino leiteiro por mesorregião.

Tabela 14: Emissões (tCO₂e) da cadeia de Bovinos Leiteiros entre 2018 e 2023

Etapas da Cadeia de Bovinos Leiteiros	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Alimentação dos bovinos	97.353	2,0%	85.601	1,9%	65.841	1,6%
Criação	4.416.567	89,1%	4.041.551	88,3%	3.557.905	87,5%
Fermentação Entérica	3.158.340	63,7%	2.887.887	63,1%	2.541.866	62,5%
Emissões de Dejetos	1.258.227	25,4%	1.153.664	25,2%	1.016.040	25,0%
Movimentação dos bovinos	404	0,008%	489	0,011%	434	0,011%
Frigoríficos	61.323	1,2%	61.744	1,3%	60.305	1,5%
Transporte da Carne	326.386	6,6%	331.344	7,2%	323.652	8,0%
Frigoríficos	56.718	1,1%	57.655	1,3%	56.035	1,4%
Total Geral	4.958.751	100%	4.578.384	100%	4.064.173	100%

Etapas da Cadeia de Bovinos Leiteiros	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Alimentação dos bovinos	40.859	1,0%	59.722	1,6%	48.899	1,3%
Criação	3.436.335	87,1%	3.215.285	86,7%	3.265.547	87,7%
Fermentação Entérica	2.458.817	62,3%	2.311.822	62,4%	2.346.958	63,1%
Emissões de Dejetos	977.518	24,8%	903.463	24,4%	918.589	24,7%
Movimentação dos bovinos	336	0,009%	252	0,007%	221	0,006%
Frigoríficos	62.558	1,6%	58.641	1,6%	58.272	1,6%
Transporte da Carne	347.174	8,8%	318.824	8,6%	299.096	8,0%
Frigoríficos	57.595	1,5%	54.660	1,5%	49.437	1,3%
Total Geral	3.944.858	100%	3.707.383	100%	3.721.471	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela 15: Estimativa de emissões, em tCO₂e, decorrentes da fermentação entérica de bovinos leiteiros

Mesorregião	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Centro Ocidental Rio-Grandense	55.818	1,8%	41.532	1,4%	40.255	1,6%
Centro Oriental Rio-Grandense	347.710	11,0%	244.758	8,5%	187.233	7,4%
Metropolitana de Porto Alegre	71.536	2,3%	56.614	2,0%	47.982	1,9%
Nordeste Rio-Grandense	277.628	8,8%	302.606	10,5%	234.379	9,2%
Noroeste Rio-Grandense	2.216.165	70,2%	2.091.559	72,4%	1.897.768	74,7%
Sudeste Rio-Grandense	130.426	4,1%	113.560	3,9%	90.137	3,5%
Sudoeste Rio-Grandense	59.057	1,9%	37.258	1,3%	44.113	1,7%
Total Geral	3.158.340	100%	2.887.887	100%	2.541.866	100%

Mesorregião	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Centro Ocidental Rio-Grandense	42.015	1,7%	41.999	1,8%	45.055	1,9%
Centro Oriental Rio-Grandense	187.365	7,6%	194.051	8,4%	192.498	8,2%
Metropolitana de Porto Alegre	45.291	1,8%	50.826	2,2%	52.536	2,2%
Nordeste Rio-Grandense	262.666	10,7%	240.557	10,4%	244.593	10,4%
Noroeste Rio-Grandense	1.804.770	73,4%	1.656.880	71,7%	1.685.240	71,8%
Sudeste Rio-Grandense	84.812	3,4%	93.081	4,0%	90.443	3,9%
Sudoeste Rio-Grandense	31.898	1,3%	34.428	1,5%	36.591	1,6%
Total Geral	2.458.817	100%	2.311.822	100%	2.346.958	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.4.4.4. Resultados Consolidados

As emissões totais da cadeia pecuária no estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 2018 e 2023 estão apresentadas na Tabela 16, divididas entre emissões e remoções associadas às pastagens, pecuária de corte e pecuária leiteira.

As emissões associadas às pastagens representam entre 7,9% e 9,4% das emissões totais, sendo a fonte menos representativa em termos de emissões. A variação entre os anos considerados se deve, principalmente, à quantidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos e ao calcário aplicado no solo. No horizonte temporal estudado, a maior emissão ocorreu em 2022, totalizando 2.559.203 tCO₂e emitidos.

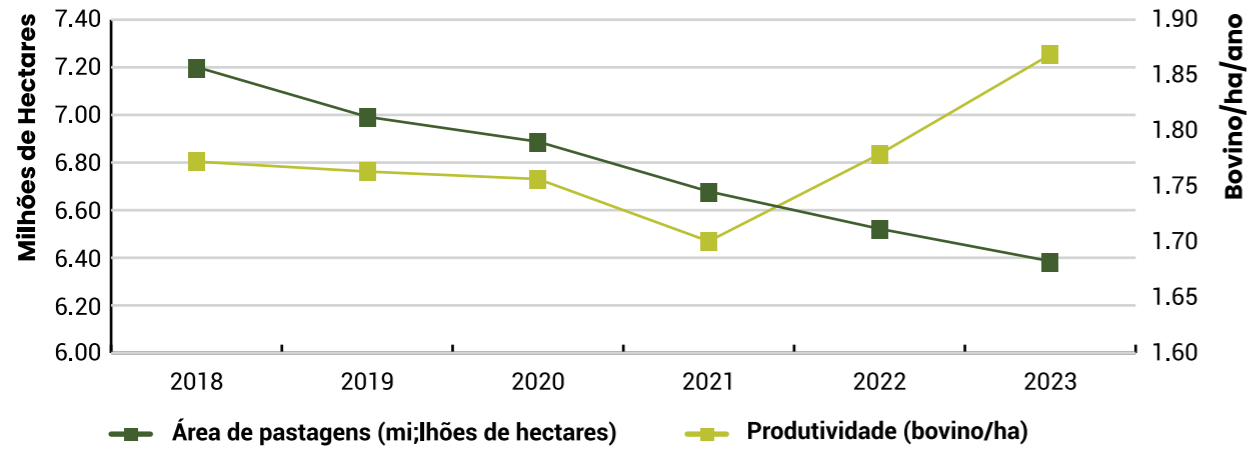
Embora entre os anos de 2018 e 2023 não tenha havido uma redução significativa de emissões associadas às pastagens (apenas 4,3%), observou-se um decréscimo de 11% na área total de pastagens do estado, uma redução proporcional nas emissões associadas à aplicação de fertilizantes, e uma melhoria da eficiência na lotação das pastagens, especialmente entre os anos de 2021 e 2023, com um aumento de 10% na produtividade. Isso mostra que não apenas as emissões desta atividade reduziram, mas que as emissões por bovino produzido também decaíram. Na Figura 22 são apresentadas as emissões associadas às pastagens, para os anos de 2018 a 2023, assim como a evolução da área de pastagem e produtividade da pecuária no estado.

O rebanho bovino de corte é a maior fonte emissora de GEE da cadeia completa da pecuária, representando entre 75,8% e 78,3% do total nos anos analisados, com uma emissão média de 21.732.254 tCO₂e. Entre 2018 e 2023, houve um decréscimo de 5,7% nas emissões da pecuária de corte, uma tendência decorrente da redução do rebanho criado para este fim (redução de 3,7%).

A cadeia leiteira teve uma emissão média de 4.162.503 tCO₂e entre os anos analisados. Assim como na pecuária de corte, houve uma queda nas emissões entre 2018 e 2023 (redução de 25,0%), que também decorre da redução do rebanho (redução de 23,6%).

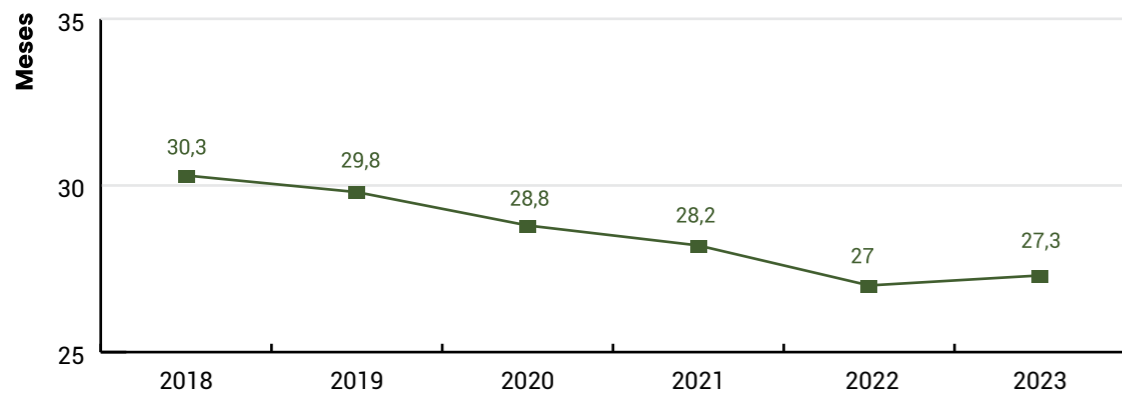
Entre 2018 e 2023, as emissões consolidadas do setor reduziram 8,7%, considerando as emissões e remoções associadas à pastagem, bovinos de corte e bovinos leiteiros, e desconsiderando as emissões e remoções das abordagens em construção. Além dos motivos já destacados, esse decréscimo nas emissões pode também estar relacionado à redução na idade média dos bovinos de corte destinados ao abate, conforme figura 23, e à redução da pegada de carbono do leite produzido no estado, conforme figura 24, o que evidencia uma maior eficiência na criação e engorda dos bovinos no estado, maior produtividade dos bovinos leiteiros e uma potencial menor pegada de carbono da carne e do leite gaúcho entre 2018 e 2023.

Figura 22: **Evolução da área de pastagem e produtividade da pecuária no Rio Grande do Sul**



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 23: **Evolução da idade média de abate dos bovinos no Rio Grande do Sul (em meses)**



Fonte: Elaboração própria com base em Rio Grande do Sul (2025b).

Figura 24: **Indicador do leite no período analisado (tCO₂e / mil litros de leite produzido)**



Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2024d).

As abordagens em construção apontam uma possibilidade de remoção de CO₂ que podem ser intensificadas com o crescimento de áreas de pastagem de alto vigor e das práticas de ILPF. Entretanto, essas remoções também podem ser

atenuadas pelo crescimento de volume de queimadas de pastagens e conversões de terra de área campestre e florestal para pastagens. As emissões da cadeia da pecuária são apresentadas abaixo.

Tabela 16: **Emissões (tCO₂e) da Cadeia da Pecuária entre 2018 e 2023**

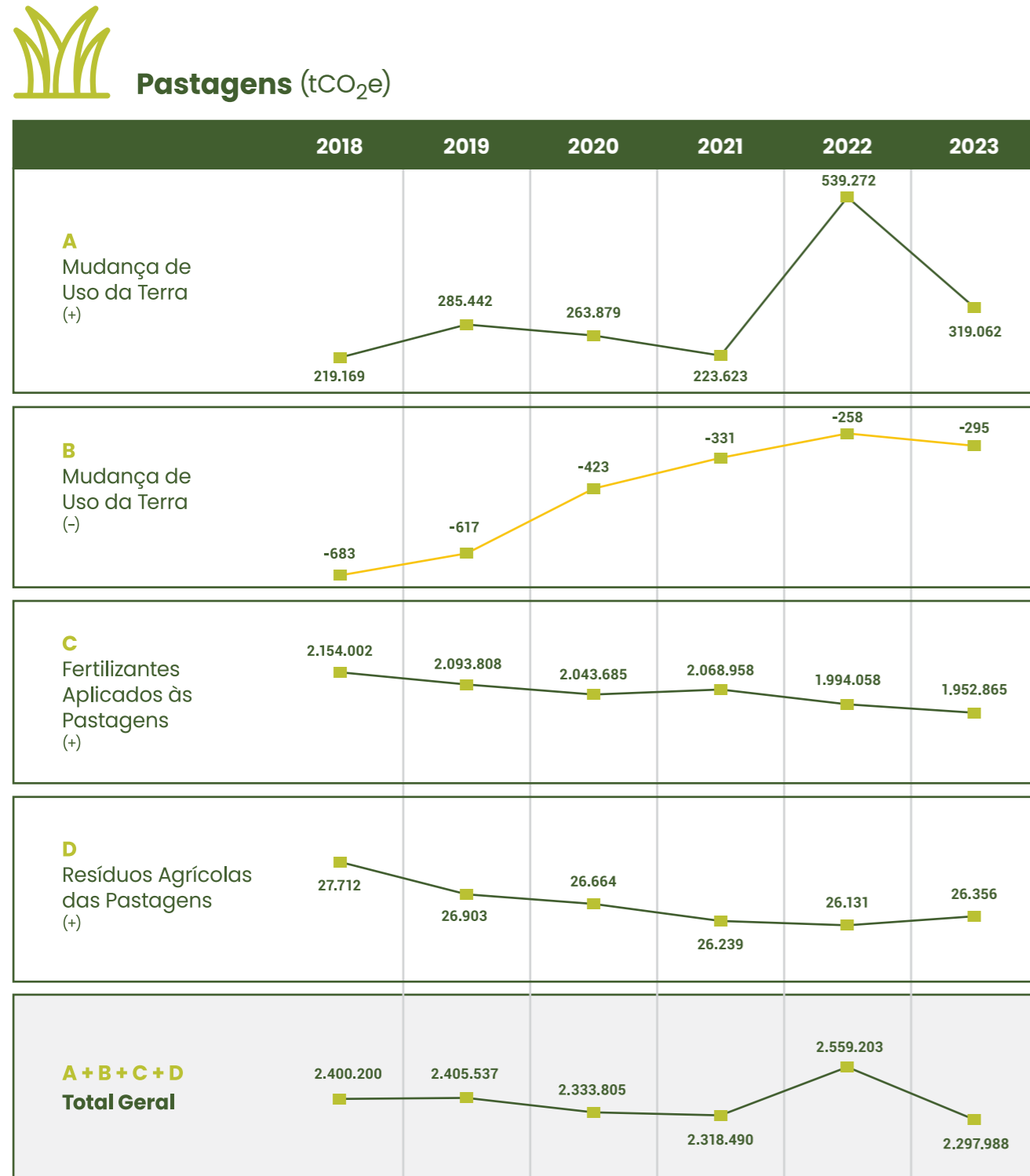
Etapas da Cadeia	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Pastagens	2.400.200	7,9%	2.405.537	8,2%	2.333.805	8,2%
Bovinos de corte	23.010.090	75,8%	22.313.305	76,2%	21.913.277	77,4%
Bovinos Leiteiros	4.958.751	16,3%	4.578.384	15,6%	4.064.173	14,4%
Total Geral	30.369.041	100%	29.297.225	100%	28.311.255	100%
Abordagens em Construção - Emissões	7.227.695	-	9.713.268	-	9.789.799	-
Abordagens em Construção - Remoções	-13.773.324	-	-12.861.520	-	-12.240.301	-
Total das Abordagens em Construção	-6.545.629	-	-3.148.251	-	-2.450.502	-

Etapas da Cadeia	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Pastagens	2.318.490	8,7%	2.559.203	9,4%	2.297.988	8,3%
Bovinos de corte	20.444.172	76,5%	21.009.081	77,0%	21.703.598	78,3%
Bovinos Leiteiros	3.944.858	14,8%	3.707.383	13,6%	3.721.471	13,4%
Total Geral	26.707.519	100%	27.275.667	100%	27.723.057	100%
Abordagens em Construção - Emissões	11.728.107	-	8.069.532	-	5.358.989	-
Abordagens em Construção - Remoções	-12.131.875	-	-12.429.768	-	-12.472.018	-
Total das Abordagens em Construção	-403.768	-	-4.360.236	-	-7.113.029	-

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figuras 25, 26, 27, 28 e 29 consolidam de forma gráfica as emissões e remoções por etapa da cadeia produtiva da Pecuária, ano a ano, no período de análise:

Figura 25: Emissões e remoções ano a ano – Pastagens (tCO₂e)

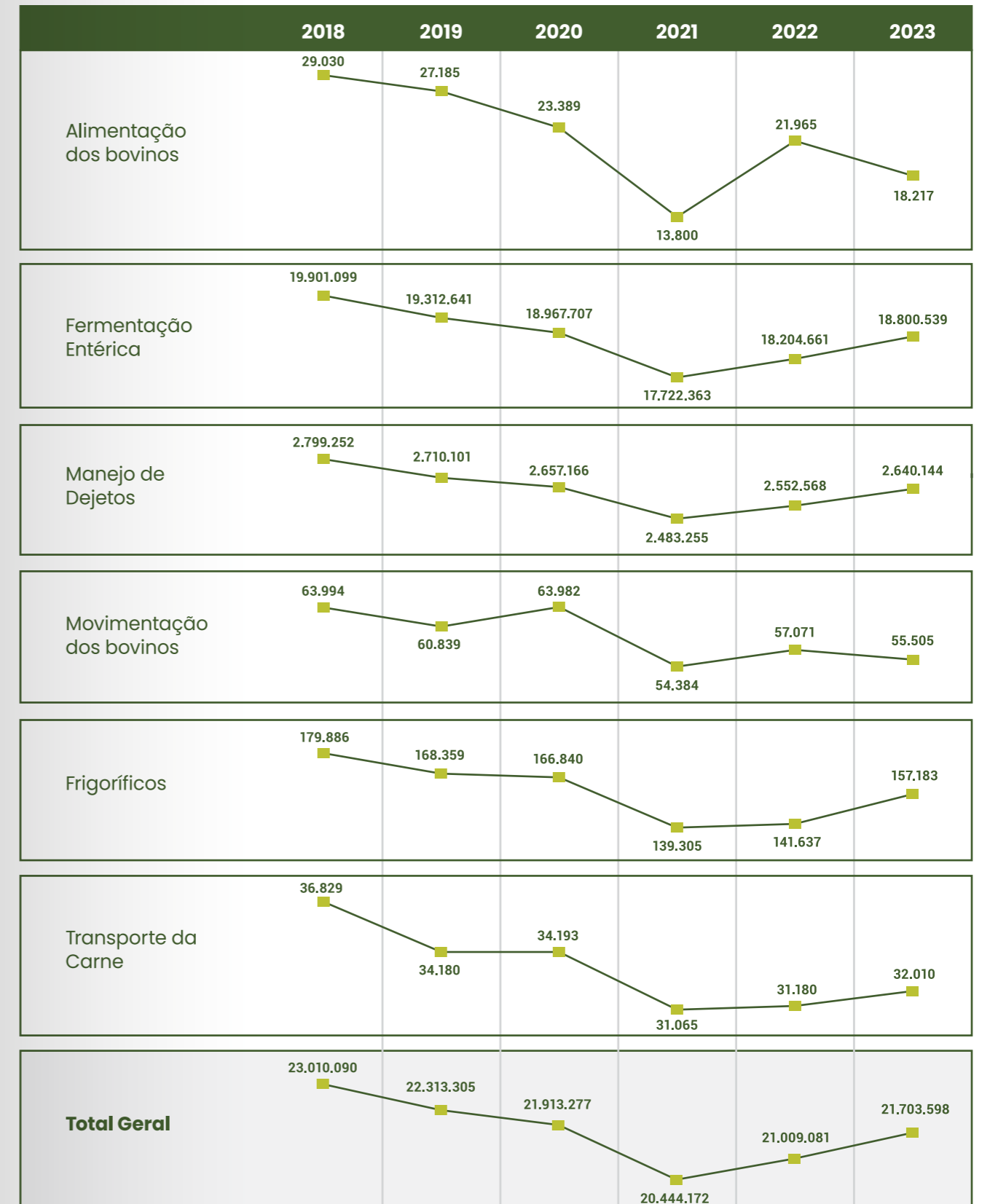


Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 26: Emissões ano a ano – Bovinos de Corte (tCO₂e)



Bovinos de corte (tCO₂e)



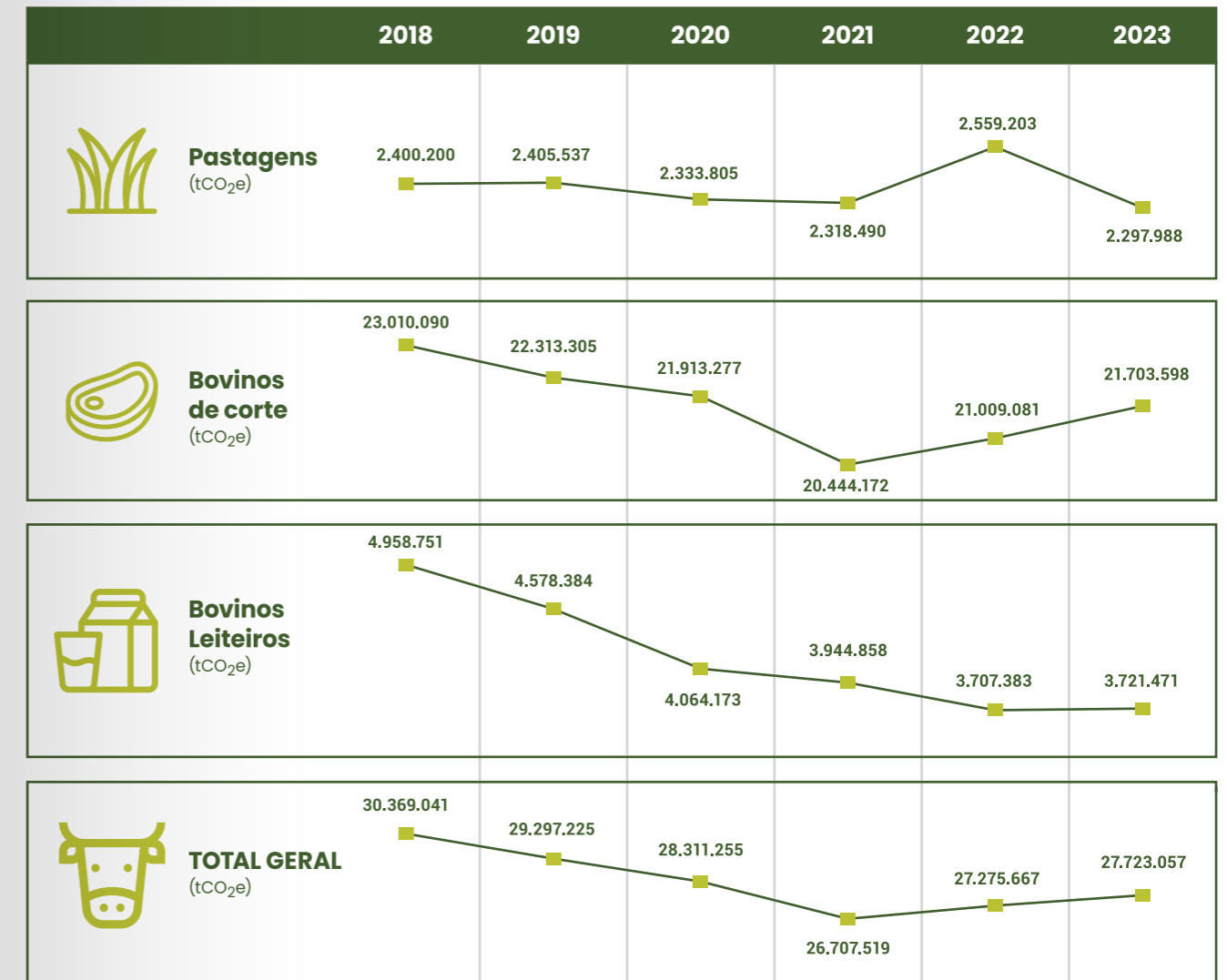
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 27: Emissões ano a ano – Bovinos Leiteiros (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

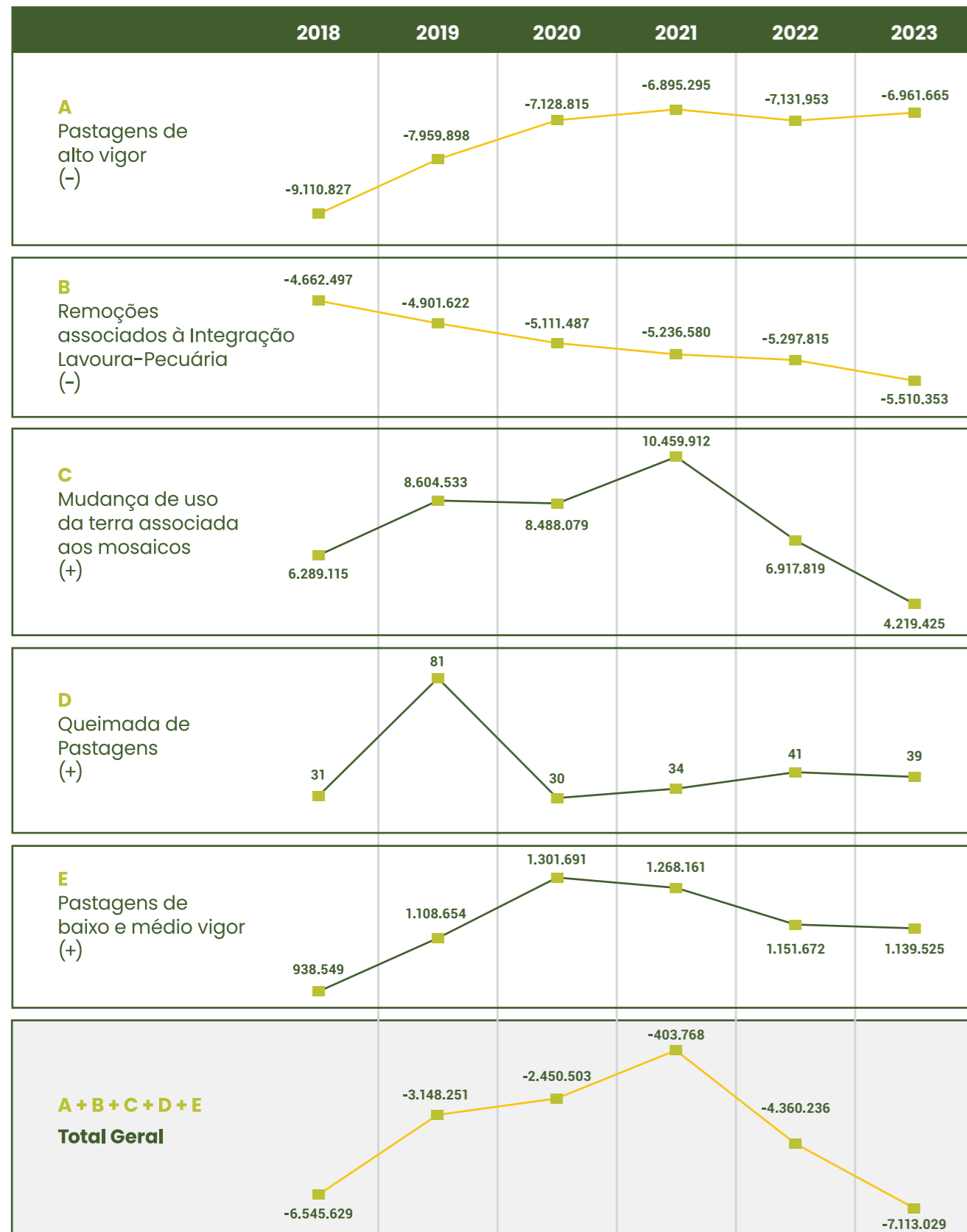
Figura 28: Emissões e remoções ano a ano – Total Geral (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 29: Emissões e remoções ano a ano – Abordagens em Construção (tCO₂e)

Abordagens em construção (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

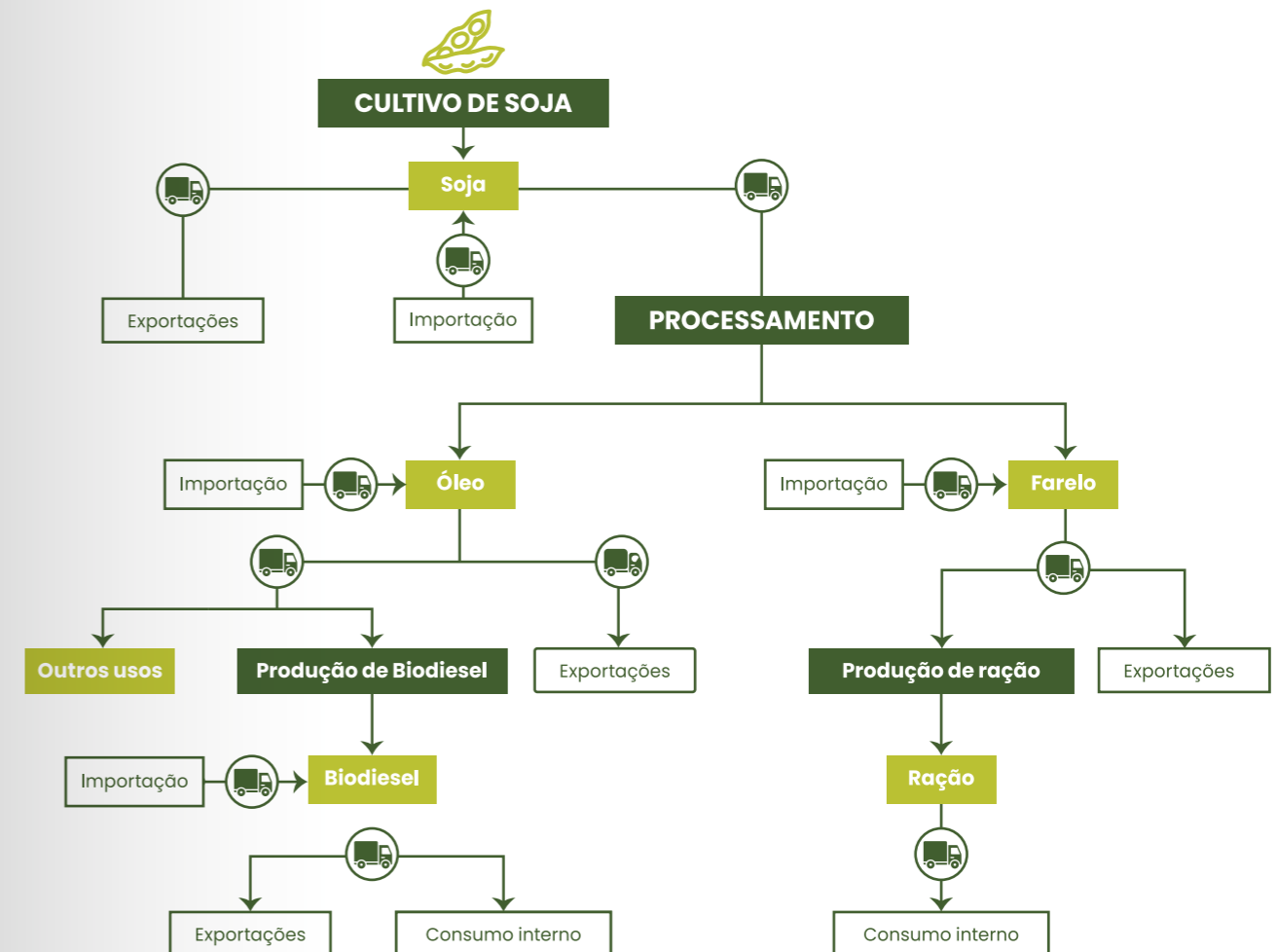
4.5. SOJA

4.5.1. Contexto e Caracterização da Cadeia Produtiva

O Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável publicado pelo Estado do Rio Grande do Sul considera a cadeia da Soja como parte da economia de sustentação do estado. Em 2021, o Rio Grande do Sul ocupou a posição de segundo maior produtor de soja do Brasil, conforme dados do IBGE (2024b). Em 2023, o estado foi o quinto maior produtor, com uma área de soja colhida de 6,6 milhões de hectares e uma produção de 12,7 milhões de toneladas (IBGE, 2024b). A sojicultura está distribuída em 434 municípios gaúchos, demonstrando sua capilaridade territorial e relevância socioeconômica (Rio Grande do Sul, 2024e).

Entre os principais cultivos de grãos no estado, a soja foi a cultura que mais se expandiu nas últimas duas décadas, impulsionada pelo aumento da demanda internacional e pela valorização dos preços pagos aos produtores, conforme o Painel do Agronegócio do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2024c). A cadeia produtiva da soja inicia-se com o cultivo e a colheita das lavouras, podendo seguir dois principais fluxos: exportação direta do grão ou processamento industrial. O processamento gera produtos derivados como farelo, óleo e ração. A ração e o farelo são principalmente destinados à nutrição de animais, enquanto o óleo pode ser encaminhado para diversos fins, entre eles, a produção de biodiesel e as indústrias químicas e alimentícias. O fluxograma da cadeia da soja pode ser observado na Figura 30.

Figura 30: Cadeia de soja do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Em 2023, a soja e seus derivados foram a principal categoria de exportação do estado (US\$ 6,4 bilhões), representando 40,1% do valor exportado. Destaca-se a comercialização da soja em grão para a China (US\$ 5,56 bilhões), Vietnã (US\$ 411,8 milhões) e Coreia do Sul (US\$ 265,7 milhões) (Rio Grande do Sul, 2024e), reforçando a dependência da sojicultura estadual do mercado asiático.

Esse desempenho reflete uma tendência observada nos últimos anos, em que o setor de soja tem ampliado sua participação nas exportações do agronegócio, chegando a representar, em anos de clima favorável, mais da metade das vendas totais do estado, como ocorreu em 2021. Esse crescimento está diretamente relacionado ao aumento populacional, à elevação da renda e à diversificação dos hábitos de consumo em países asiáticos, especialmente na China (Rio Grande do Sul, 2024c).

Em relação à geração de empregos, em 2023, a cadeia produtiva da soja empregou aproximadamente 13,9 mil pessoas na atividade agrícola. Já a produção de ração, incluindo aquela derivada da soja, gerou cerca de 5,9 mil postos de trabalho (Rio Grande do Sul, 2024c).

Além de seu papel como alimento e insumo industrial, a soja desempenha um papel estratégico na matriz energética renovável do Brasil. Historicamente associada à segurança alimentar, a agricultura passou também a desempenhar um papel relevante na oferta de energia renovável, com destaque para a soja como principal matéria-prima na produção de biodiesel.

Com relação ao biodiesel, em 2023, o estado foi responsável por 46,1% das exportações brasileiras. Atualmente, o Rio Grande do Sul é o principal estado brasileiro em termos de produção de biodiesel, com nove usinas instaladas (Rio Grande do Sul, 2024e).

A aprovação do Projeto de Lei nº 528/2020, denominado "Projeto Combustíveis do Futuro", estabelece diretrizes que reforçam ainda mais o papel atual e potencial futuro da soja na economia gaúcha. O texto estabelece medidas para garantir uma demanda fixa por biocombustíveis, como o biodiesel, no mercado nacional, além de prever o aumento da mistura de biodiesel no diesel de 13% para 20% até 2030. Dado o protagonismo do RS na produção de biodiesel (ANP, 2025b), é provável que haja um

incentivo maior para o processamento da soja dentro do estado, o que pode reduzir a quantidade de grãos destinada à exportação, dependendo da atratividade do mercado interno.

A alta vulnerabilidade da soja às mudanças climáticas (Estevam et al., 2023) reforça a importância da descarbonização dos sistemas produtivos, inclusive os agrícolas, para a perenidade do próprio setor. Embora a sojicultura, atualmente, seja uma fonte de emissão, principalmente em razão da Mudança de Uso da Terra associada à sua expansão, ela tem potencial de se tornar um sumidouro de carbono por meio da implementação de práticas de cultivo como sistema Integração-lavoura-floresta (ILF) e do Sistema de Plantio Direto (SPD) (Estevam et al., 2023). Essa transformação é não apenas ambientalmente necessária, mas também estratégica diante do aumento da pressão regulatória internacional, a exemplo das exigências para exportações do EU Deforestation-Free Regulation (EUDR) e do Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Neste cenário, a ampliação das práticas de baixa intensidade de emissões de carbono é crucial para a expansão e agregação de valor da cadeia da soja.

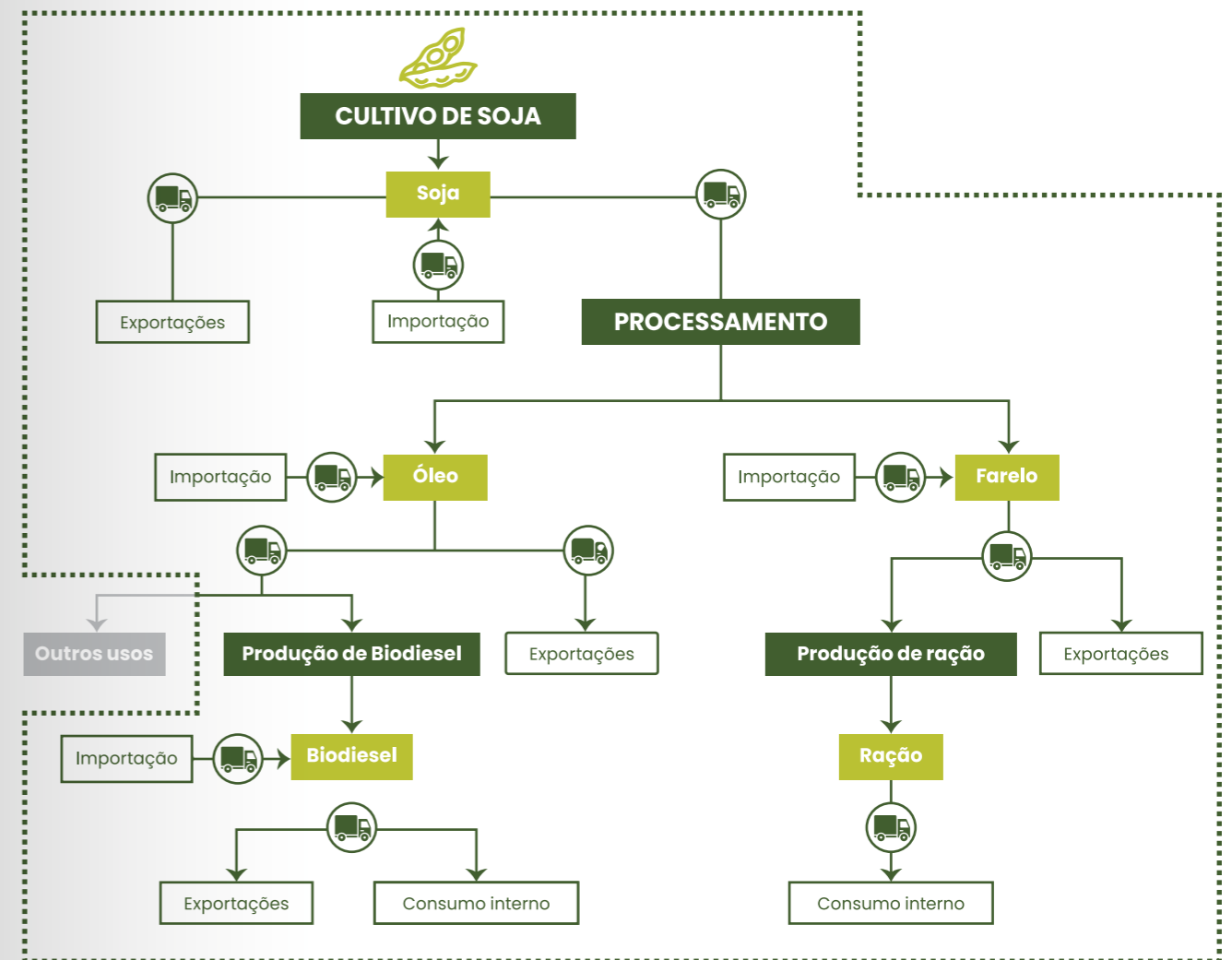
4.5.2. Recorte Metodológico para a Cadeia Produtiva

Para a contabilização das emissões de GEE da soja, o seguinte recorte metodológico foi adotado:

- Emissões e remoções associadas ao cultivo da soja (uso de fertilizantes; mudança do uso da terra; uso de diesel no cultivo; resíduos agrícolas);
- Transporte da soja para o processamento;
- Processamento da soja para produção de farelo, óleo e biodiesel;
- Transporte do farelo para a produção de ração;
- Produção de ração;
- Transporte da ração para o cliente;
- Transporte do biodiesel para o cliente;
- Transporte da soja, farelo, óleo e biodiesel até o porto de exportação;
- Transporte da soja, farelo, óleo e biodiesel advindos da importação;

A Figura 31 apresenta o recorte para a cadeia de soja do estado.

Figura 31: Cadeia de soja do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria, 2025.

4.5.3. Justificativas para Recorte Metodológico

As principais etapas da cadeia da soja foram consideradas, enquanto as de menor relevância não foram incluídas em razão da ausência de dados para a estimativa de emissões. Por esse motivo, não foram contabilizadas as emissões associadas ao transporte do óleo não refinado para indústria, ao processo de refino e transporte do óleo refinado para o consumidor no mercado interno. Além disso, a fração da soja destinada a usos distintos da produção de farelo e da exportação também foi desconsiderada.

Também não foram consideradas as emissões decorrentes dos solos orgânicos e da mineralização do nitrogênio no solo. A variável essencial para o cálculo é a área cultivada sobre organossolos em cada ano. Contudo, o 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020a) destaca que essa área não está identificada nos mapas de uso e cobertura do solo, impossibilitando a estimativa das emissões referentes ao cultivo da soja nesse contexto.

4.5.4. Resultados

Os resultados consolidados para cada etapa da cadeia produtiva da soja são apresentados a seguir, levando em conta as emissões e remoções relacionadas ao cultivo da soja e às demais fontes de emissão ao longo da cadeia, como a produção e o transporte de subprodutos. A metodologia utilizada para os cálculos, assim como as premissas adotadas, está detalhada no Anexo A.

As emissões e remoções da cadeia da soja entre 2018 e 2023 para o RS estão apresentadas na Tabela 17. Dentre as etapas contabilizadas, a que apresentou maior representatividade para o setor em termos de emissões foi o cultivo do grão, totalizando entre 84,0% e 91,8%.

As emissões associadas ao cultivo da soja são provenientes da mudança no uso da terra (MUT), dos resíduos agrícolas, do uso de fertilizantes e do consumo de diesel durante o cultivo. Entre 2018 e 2023, as emissões relacionadas à mudança no uso da terra apresentaram uma redução de 99%, sendo este o principal motivo da redução das emissões desta etapa e da cadeia da soja como um todo, demonstrando uma queda significativa de conversões de formações florestais e campestres para áreas de cultivo da soja.

A conversão mais significativa nesse período foi a de formações campestres em áreas de cultivo de soja (entre 14% e 73% das emissões de MUT anuais), com maior relevância em 2018 e 2019, que concentraram 4.709.761 tCO₂e.

As emissões decorrentes da decomposição de resíduos agrícolas têm uma representatividade relevante dentro da cadeia (entre 23,4% e 43,7%), tendo sido a fonte mais relevante em 2020, 2021 e 2023. A variação das emissões associadas aos resíduos agrícolas depende, principalmente, da área colhida e do rendimento anual da colheita. No caso do RS, nos anos analisados, o principal motivo na variação de emissões foi a variação do rendimento anual da colheita, de forma que as menores emissões ocorreram nos anos de 2020 (1.890 kg/ha), 2022 (1.508 kg/ha) e 2023 (1.912 kg/ha) e as maiores nos anos de 2018 (3.104 kg/ha), 2019 (3.179 kg/ha) e 2021 (3.343 kg/ha).

A calagem e fertilização, em conjunto, representaram, em média, 31,0% das emissões da cadeia da soja, tendo sido a etapa mais representativa em 2022 (36,1%). Dentro desta categoria, o uso do calcário foi muito mais representativo do que o uso do nitrogênio, perfazendo entre 94,9% e 96,8% das emissões (média de 1,04 milhão tCO₂e por ano). Em razão da aplicação do nitrogênio ter se restringido às áreas de plantio de soja em alternância com arroz em terra baixas, as emissões deste fertilizante não tiveram tanta relevância, com média de 41,6 mil tCO₂e por ano.

O diesel utilizado em equipamentos e veículos usados no cultivo do grão apresentou uma emissão média de 501 mil tCO₂e no intervalo estimado. Entre 2018 e 2023, as emissões cresceram 14%, em razão do aumento de área cultivada de soja.

A segunda etapa mais representativa na cadeia da sojicultura é a do processamento da soja, que engloba o transporte da soja até o processamento, o próprio processamento e o transporte dos produtos até os clientes. Nesta etapa, o transporte da soja e posteriormente dos produtos derivados da soja (entre 59% e 62% das emissões da etapa) apresentou uma representatividade maior que o processamento da soja em farelo, óleo, biodiesel e ração (entre 38% e 41% das emissões da etapa).

A redução de emissões da etapa em 32% está associada à redução da soja processada no estado. Vale ressaltar que, na falta de dados estaduais, este dado de soja processada foi estimado a partir dos dados de soja processada no Brasil e da relação entre a soja produzida no Rio Grande do Sul e no Brasil. Portanto, as emissões podem estar subestimadas, uma vez que o estado pode ter adquirido soja de outros estados brasileiros para suprir a demanda interna de soja para processamento.

Com relação ao transporte de soja e derivados para exportação, a representatividade das emissões para a cadeia variou entre 5,1% e 11,2%. Nesta etapa, o transporte da soja em grãos é o mais emissor, com uma média de 317.320 tCO₂e (entre 74% e 89% das emissões da etapa). Os derivados apresentaram uma representatividade menor, entre 11% e 26% das emissões da etapa, conjuntamente. Destaca-se o aumento das emissões do transporte do farelo para exportação entre 2018 e 2023 (119%), que variou,

principalmente, em razão do aumento de farelo destinado à exportação (20%) e da quilometragem média percorrida, que dobrou no período.

As emissões associadas ao transporte decorrente da importação de soja e derivados é a menos

representativa dentre as etapas, variando entre 0,1% e 1,2% das emissões da cadeia, em razão do volume transportado também não ser relevante.

Tabela 17: Emissões (tCO₂e) da cadeia da soja entre 2018 e 2023

Etapas da Cadeia	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Cultivo de soja	6.931.273	91,8%	7.039.113	91,3%	3.494.760	86,5%
Mudança do Uso da Terra	3.672.942	48,6%	3.672.858	47,6%	950.662	23,5%
Resíduos agrícolas	1.767.237	23,4%	1.863.726	24,2%	1.139.306	28,2%
Calagem e fertilização	1.018.004	13,5%	1.021.850	13,3%	917.008	22,7%
Uso de diesel no cultivo	473.090	6,3%	480.679	6,2%	487.784	12,1%
Processamento da soja	227.360	3,0%	244.640	3,2%	159.507	3,9%
Transporte da soja para processamento	86.660	1,1%	91.499	1,2%	55.229	1,4%
Processamento soja (farelo, óleo e biodiesel)	72.090	1,0%	78.242	1,0%	48.385	1,2%
Transporte do farelo para a produção de ração	2.676	0,0%	2.918	0,0%	1.795	0,0%
Produção de ração	17.968	0,2%	20.137	0,3%	12.693	0,3%
Transporte da ração para o cliente	29.181	0,4%	31.983	0,4%	19.773	0,5%
Transporte do Biodiesel para o mercado	18.785	0,2%	19.861	0,3%	21.631	0,5%
Exportação	386.981	5,1%	406.319	5,3%	335.478	8,3%
Transporte para exportação - Soja	345.723	4,6%	354.937	4,6%	289.534	7,2%
Transporte para exportação - Farelo	39.250	0,5%	49.976	0,6%	43.909	1,1%
Transporte para exportação - Óleo	2.009	0,0%	1.406	0,0%	2.035	0,1%
Transporte para exportação - Biodiesel	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Importação	4.182	0,1%	19.306	0,3%	50.501	1,2%
Transporte da importação - Soja	3.591	0,0%	18.570	0,2%	48.698	1,2%
Transporte da importação - Farelo	591	0,0%	736	0,0%	964	0,0%
Transporte da importação - Óleo	0	0,0%	0	0,0%	839	0,0%
Transporte da importação - Biodiesel	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Total	7.549.796	100%	7.709.378	100%	4.040.247	100%

Etapas da Cadeia	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Cultivo de soja	3.970.805	84,4%	2.668.120	85,9%	2.954.150	84,0%
Mudança do Uso da Terra	113.797	2,4%	76.487	2,5%	32.187	0,9%
Resíduos agrícolas	2.057.150	43,7%	944.307	30,4%	1.278.890	36,3%
Calagem e fertilização	1.302.097	27,7%	1.119.946	36,1%	1.103.766	31,4%
Uso de diesel no cultivo	497.762	10,6%	527.380	17,0%	539.306	15,3%
Processamento da soja	255.408	5,4%	140.842	4,5%	154.041	4,4%
Transporte da soja para processamento	94.211	2,0%	50.332	1,6%	52.864	1,5%
Processamento soja (farelo, óleo e biodiesel)	80.543	1,7%	43.783	1,4%	50.284	1,4%
Transporte do farelo para a produção de ração	3.059	0,1%	1.482	0,0%	1.608	0,0%
Produção de ração	21.115	0,4%	10.402	0,3%	12.347	0,4%
Transporte da ração para o cliente	33.537	0,7%	16.297	0,5%	18.017	0,5%
Transporte do Biodiesel para o mercado	22.943	0,5%	18.547	0,6%	18.921	0,5%
Exportação	459.926	9,8%	277.310	8,9%	393.681	11,2%
Transporte para exportação - Soja	408.946	8,7%	204.227	6,6%	300.554	8,5%
Transporte para exportação - Farelo	47.269	1,0%	62.454	2,0%	85.795	2,4%
Transporte para exportação - Óleo	3.451	0,1%	9.528	0,3%	6.230	0,2%
Transporte para exportação - Biodiesel	260	0,0%	1.100	0,0%	1.102	0,0%
Importação	19.653	0,4%	19.344	0,6%	17.570	0,5%
Transporte da importação - Soja	17.482	0,4%	17.681	0,6%	12.240	0,3%
Transporte da importação - Farelo	766	0,0%	946	0,0%	392	0,0%
Transporte da importação - Óleo	1.405	0,0%	716	0,0%	4.931	0,1%
Transporte da importação - Biodiesel	0	0,0%	2	0,0%	7	0,0%
Total	4.705.792	100%	3.105.616	100%	3.519.441	100%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Na cadeia da soja, algumas fontes de emissão e remoção calculadas apresentaram alto grau de incerteza. Estas abordagens não foram contabilizadas no Inventário Nacional (com exceção da estimativa de MUT relacionada ao mosaico de agricultura e pastagem). Elas são, portanto, calculadas e apresentadas pelo SEEG em separado.

A incerteza associada a essas estimativas está relacionada a diversos aspectos, como a limitação dos fatores de emissão disponíveis, escassez de dados na literatura científica e dificuldades em atribuir as emissões com precisão à cadeia da soja. Assim, foi realizado um recorte específico na análise da cadeia da soja, e os resultados dessas estimativas

são apresentados separadamente, com caráter meramente informativo.

As abordagens em construção estão associadas à etapa de cultivo da soja, contemplando três fontes: (I) a conversão de áreas em mosaicos de agricultura e pastagem; (II) as remoções de carbono associadas aos sistemas integrados de lavoura, pecuária e floresta (ILPF); e (III) as remoções associadas ao uso do plantio direto (PD) e sistema de plantio direto (SPD) no cultivo.

As emissões estimadas concentram-se nas transições de outro uso da terra para mosaicos de agricultura e pastagem, uma classe que denota a incerteza do uso posterior da terra. Se esta categoria de emissões fosse incluída no total de emissões da cadeia da soja, representaria entre 39,7%, em 2018, e 55,3%, em 2023, indicando a relevância das emissões desta fonte.

A maior parte dessas emissões está associada às transições de formações campestres e florestais

para mosaicos de agricultura e pastagem, as quais respondem, em conjunto, por 82,1% das emissões totais desse uso do solo no período analisado. Essa categoria registrou um pico de emissões em 2021, com valores cerca de duas vezes maiores àqueles observados em 2023.

Com o emprego destas metodologias, é possível também estimar as remoções que estão ocorrendo como consequência de novas práticas de cultivo, o ILPF, o PD e o SPD. As estimativas de remoções demonstram um aumento gradual de remoções anual entre os anos de 2018 e 2023, proporcionando um aumento de 48% entre estes anos. O ILPF apresenta uma estimativa de remoção maior do que as práticas de SPD e PD, representando de 70,7% a 73,8% das remoções estimadas.

A Tabela 18 apresenta as emissões e remoções das abordagens em construção.

Tabela 18: Emissões (tCO₂e) das abordagens em construção para a cadeia da soja entre 2018 e 2023

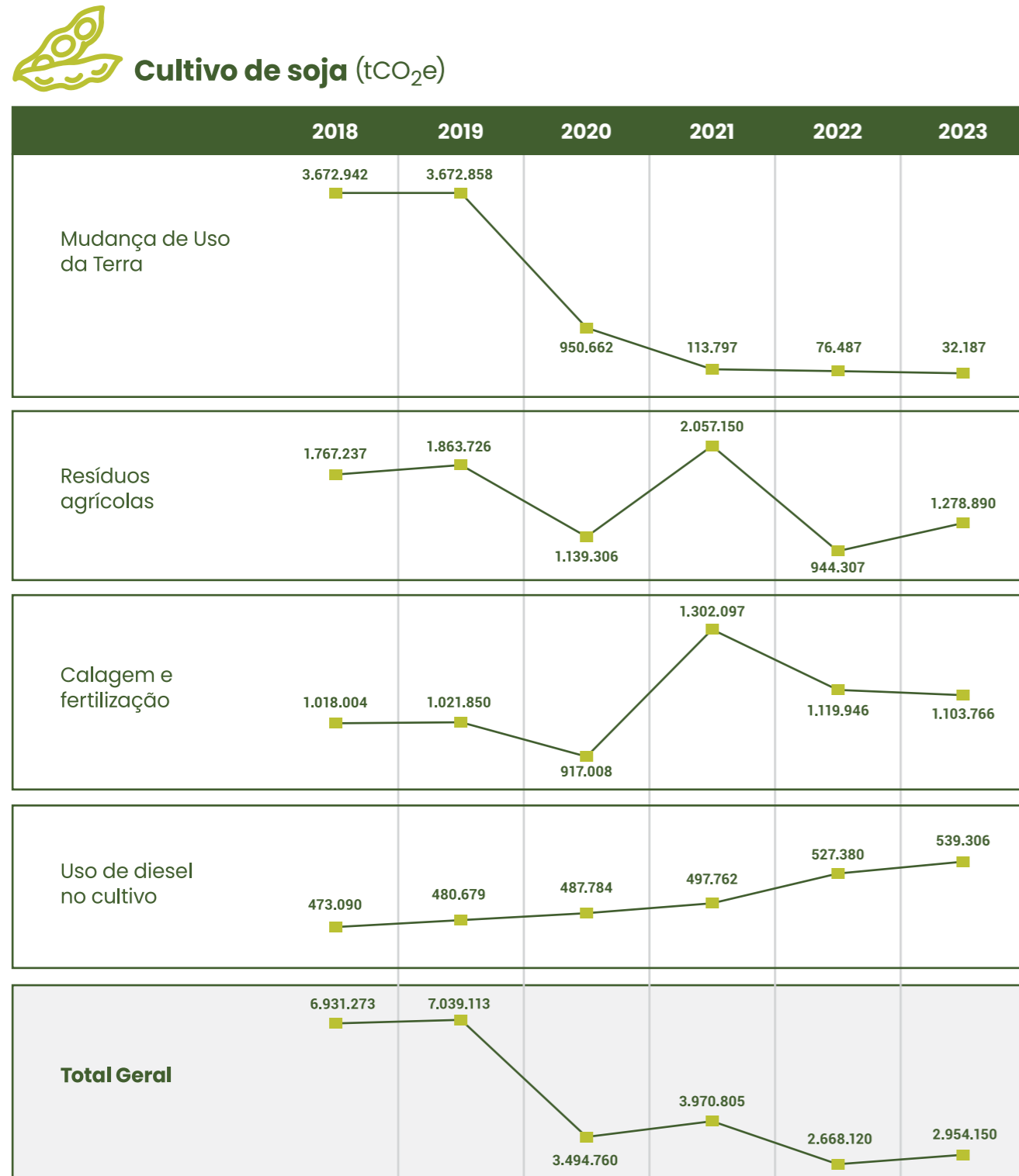
Etapas da Cadeia	2018		2019		2020	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Abordagens em construção - Emissões	4.980.984	100%	7.190.268	100%	7.403.781	100%
Mudança do Uso da Terra - mosaico	4.980.984	100%	7.190.268	100%	7.403.781	100%
Abordagens em construção - Remoções	-5.221.459	100%	-5.704.592	100%	-6.129.211	100%
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	-3.692.701	70,7%	-4.095.977	71,8%	-4.458.527	72,7%
Sistema de plantio direto/plantio direto	-1.528.758	29,3%	-1.608.615	28,2%	-1.670.684	27,3%
Total Geral	-240.475	-	1.485.676	-	1.274.569	-

Etapas da Cadeia	2021		2022		2023	
	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%	tCO ₂ e	%
Abordagens em construção - Emissões	9.535.246	100%	6.755.308	100%	4.361.199	100%
Mudança do Uso da Terra - mosaico	9.535.246	100%	6.755.308	100%	4.361.199	100%
Abordagens em construção - Remoções	-6.503.898	100%	-7.019.037	100%	-7.715.753	100%
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	-4.773.662	73,4%	-5.173.361	73,7%	-5.695.503	73,8%
Sistema de plantio direto/plantio direto	-1.730.236	26,6%	-1.845.676	26,3%	-2.020.250	26,2%
Total Geral	3.031.348	-	-263.729	-	-3.354.554	-

Fonte: Elaboração própria, 2025.

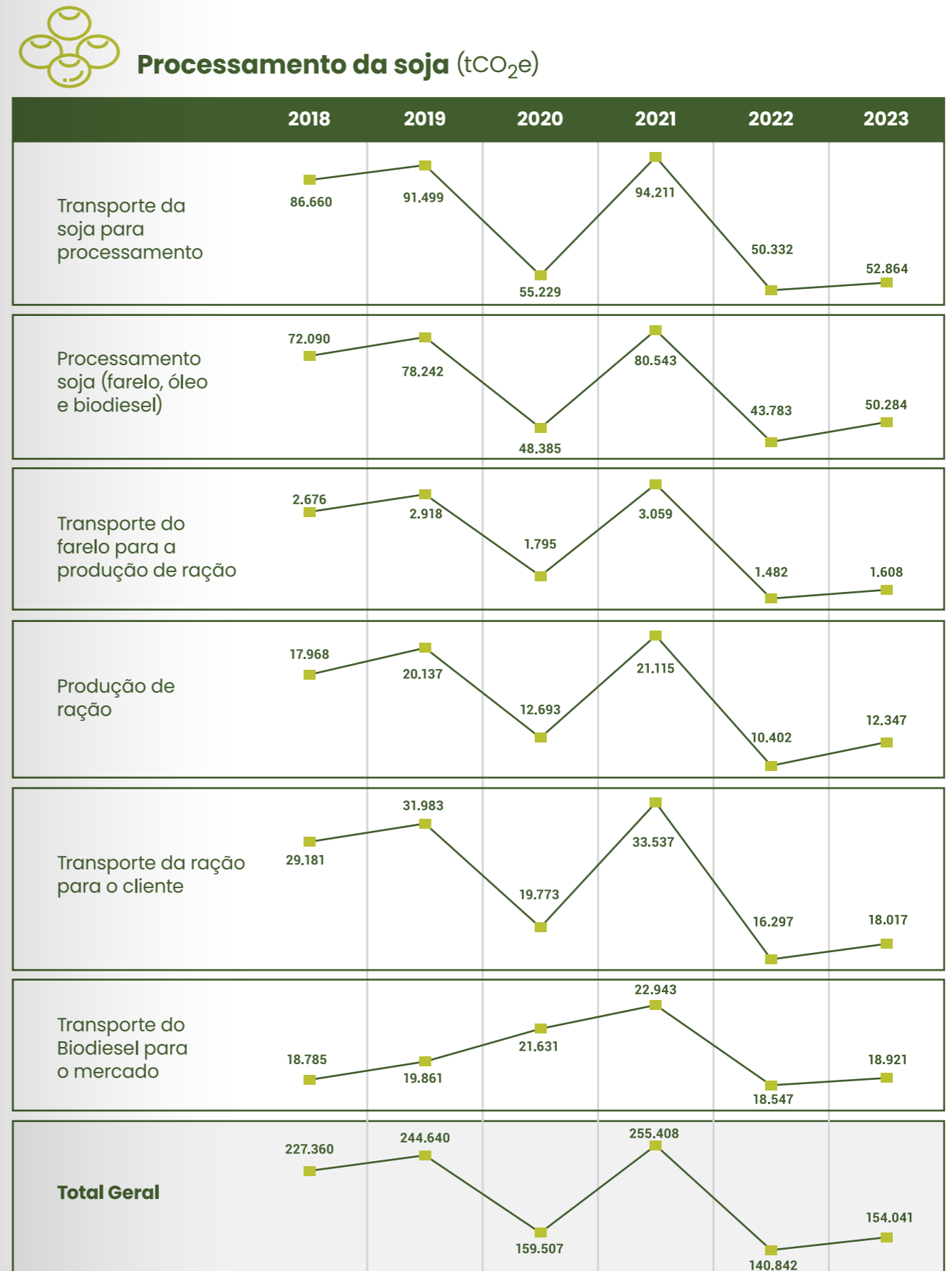
As Figuras 32, 33 e 34 consolidam de forma gráfica as emissões por etapa da cadeia produtiva da soja ano a ano no período de análise:

Figura 32: Emissões ano a ano – Cultivo da soja (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 33: Emissões ano a ano – Processamento da soja (tCO₂e)

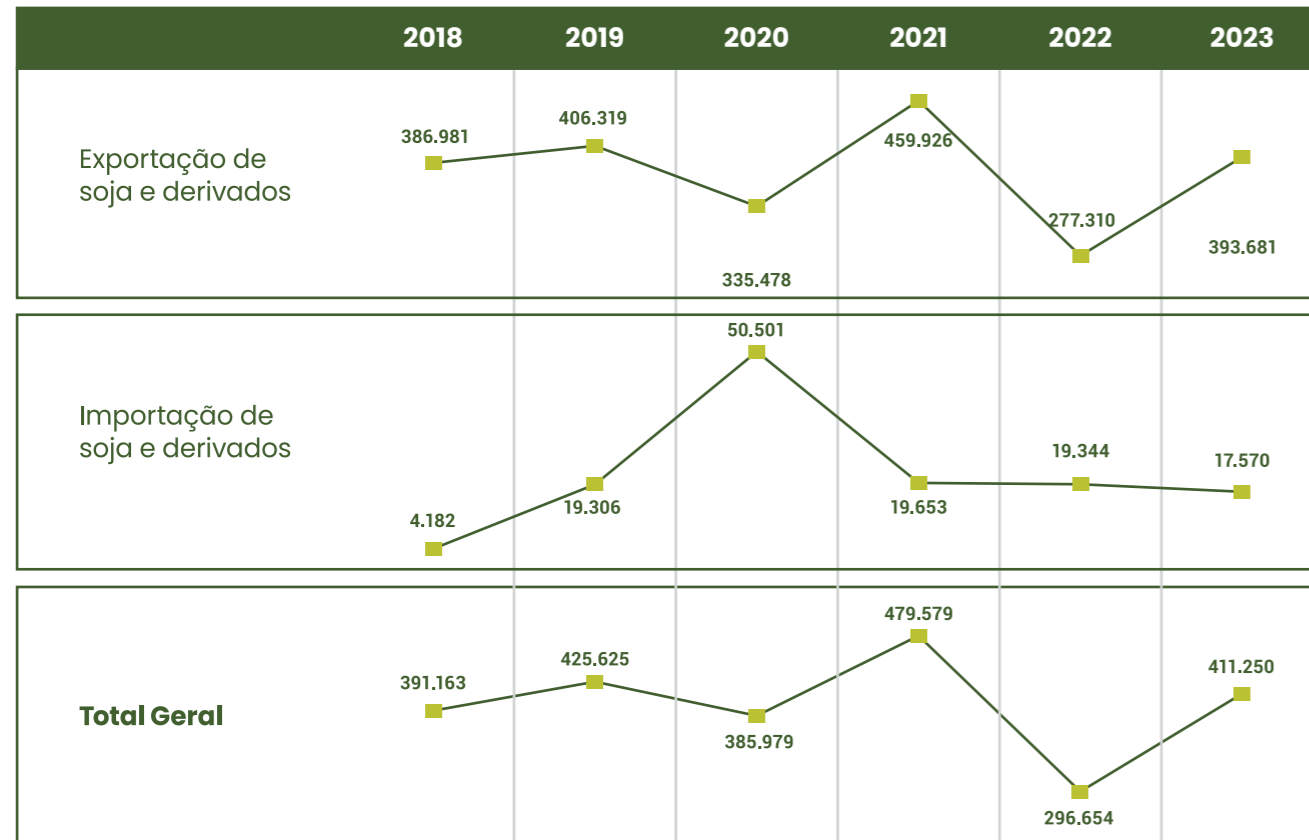


Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 34: Emissões ano a ano – Exportações e importações (tCO₂e)

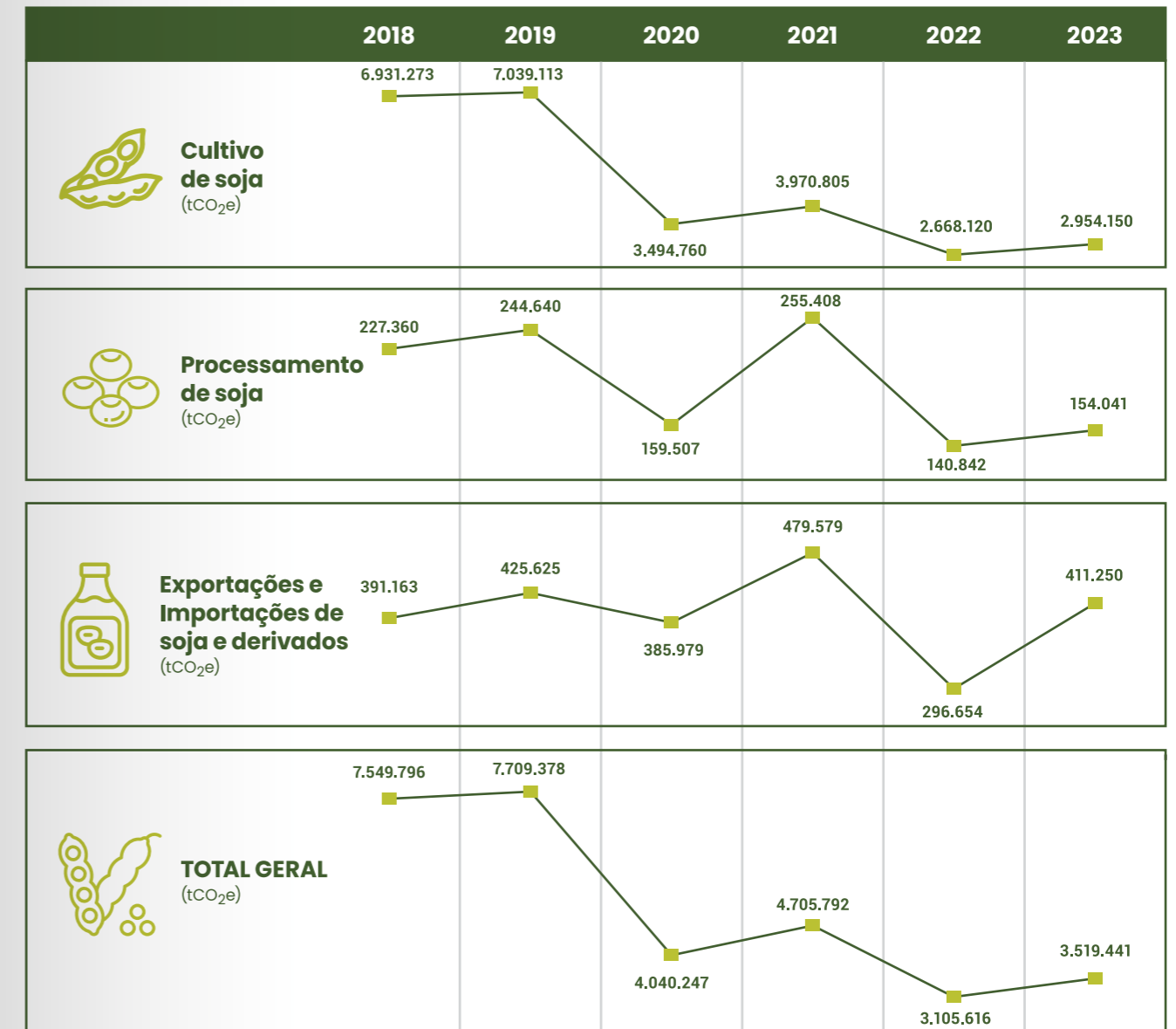


Exportações e Importações de soja e derivados (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

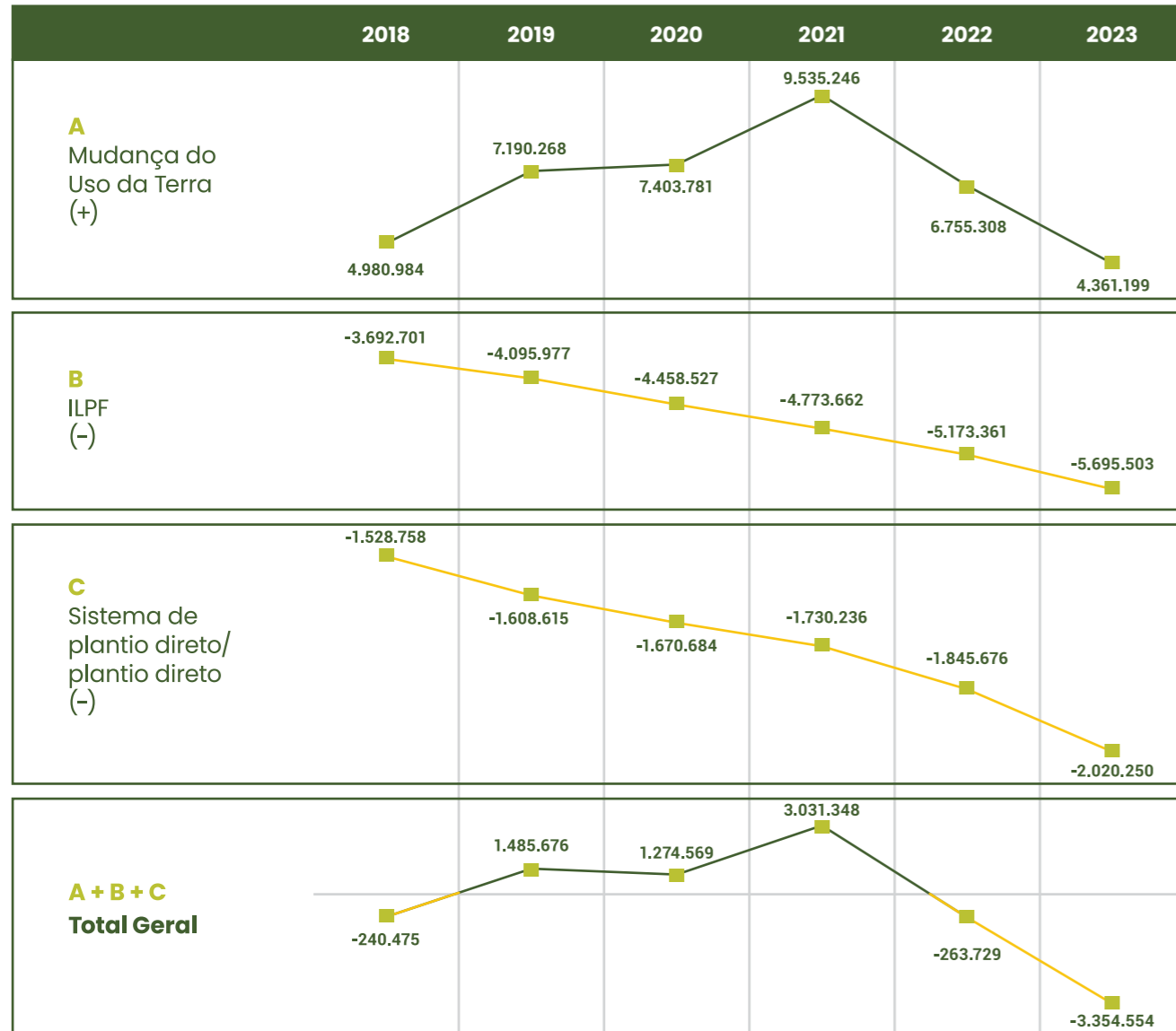
Figura 35: Emissões ano a ano – Total Geral (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Figura 36: Emissões e remoções ano a ano – Abordagens em construção (tCO₂e)

Abordagens em construção (tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Observa-se uma redução de 53% nas emissões da cadeia da soja (de 7,6 para 3,5 milhões de tCO₂e), atribuída principalmente à diminuição das emissões na etapa de cultivo (conforme Fig. 32). Essa queda, por sua vez, resulta da menor contribuição das emissões por MUT (de 3,7 milhões de tCO₂e para 32 mil tCO₂e) e pela menor decomposição de resíduos agrícolas (de 1,8 para 1,3 milhões de tCO₂e). A etapa de processamento de soja também apresentou uma redução relevante nas emissões (32%) (conforme Fig. 33), embora a redução absoluta de emissões não tenha sido tão relevante, considerando toda a cadeia (cerca de 73 mil tCO₂e).

A contribuição das abordagens em construção (ver Fig. 36) variou consideravelmente durante os

anos analisados, com emissões líquidas positivas entre 2019 e 2021 e remoções nos anos de 2018, 2022 e 2023. O ano de 2023 foi o que apresentou a maior remoção, em razão da menor contribuição da MUT para as emissões deste ano e maiores contribuições do ILPF, PD e SPD para as remoções.

Se as abordagens em construção fossem somadas às abordagens convencionais (ver Fig. 35), a redução das emissões da cadeia totalizaria 98%, com as emissões saindo de 7,3 milhões de tCO₂e, em 2018, para 164 mil tCO₂e, em 2023. Observa-se que caso as emissões de mosaico reduzissem ao longo dos anos, a soja poderia chegar ao net zero ou até proporcionar emissões negativas nos próximos anos.

Capítulo 05

CONSIDERAÇÕES FINAIS



O trabalho de contabilização das cadeias produtivas revelou uma tendência geral de redução das emissões em todas as cadeias analisadas no período entre 2018 e 2023. Essa diminuição nas emissões está relacionada, por um lado, à adoção de práticas mais eficientes e menos emissoras por parte de algumas empresas e setores que integram essas cadeias produtivas, e, por outro, à redução da produção observada em algumas cadeias específicas entre estes anos. A redução das emissões associadas à Mudança de Uso da Terra destaca-se como tendo uma contribuição significativa para as cadeias produtivas da soja, arroz e silvicultura.

Embora a maior parte das etapas das cadeias produtivas tenha sido contemplada neste estudo, algumas limitações foram identificadas devido à ausência de dados sistematizados para determinadas fontes de emissão. Nesse sentido, para o avanço e melhoria contínua das estimativas de emissões e remoções, que contemple todas as etapas das cadeias, sugere-se que sejam adotadas estratégias de fortalecimento do engajamento e colaboração dos agentes da cadeia para a coleta e padronização desses dados.

Na cadeia da petroquímica, destaca-se a necessidade de dados associados aos produtos petroquímicos de terceira geração (transformadores), cuja emissão não foi contabilizada. Na cadeia da soja, recomenda-se a sistematização de dados associados ao processamento da soja no estado e ao transporte e processamento de óleo de soja para a produção de óleo refinado. Na cadeia da pecuária, dados sobre as emissões da produção de laticínios e processamento da carne seriam prioridade. Na cadeia do arroz, a solicitação de forma sistematizada, por meio de órgãos ambientais locais, dos inventários de emissões de GEE das empresas de beneficiamento do setor poderia trazer resultados mais assertivos sobre as emissões desta etapa. Por fim, para a cadeia da silvicultura, recomenda-se a ampliação da coleta de dados, com engajamento do setor, para abranger indústrias que utilizam a madeira em tora para a produção de produtos madeireiros diferentes do papel e celulose (ex. madeira serrada, compensados e móveis) e produtos não madeireiros (ex. resinas e erva-mate).

A promoção de estudos locais para a identificação de fatores de emissão específicos para a realidade local poderia trazer dados mais precisos sobre as emissões do Rio Grande do Sul. Neste sentido, destacam-se os estudos realizados no setor da pecuária no Rio Grande do Sul, associado à fermentação entérica, que demonstram um potencial menor fator de emissão dos bovinos criados na região (Genro et al., 2020, 2023). Recomenda-se ampliar os estudos, com maior abrangência territorial e uso de tecnologias avançadas de medição, esforço já iniciado pelo governo estadual por meio do apoio a projetos de monitoramento de GEE em campos e florestas (edital FAPERGS/SEMA 05/2023).

Estudos que aprofundem as “abordagens em construção”, considerando especialmente o bioma da região e as práticas de cultivo locais, poderiam trazer uma maior assertividade para os fatores de

emissão e remoção associados a algumas práticas (PD, SPD, ILPF, vigor das pastagens). Com uma metodologia mais robusta, seria possível integrar a contabilização das emissões e remoções dessas práticas - atualmente tratadas separadamente pelo SEEG e, neste estudo, também consideradas em separado - à contabilização já realizada como prática.

O Governo do Estado do Rio Grande do Sul já possui iniciativas concretas com impacto direto sobre as cadeias da pecuária, arroz, soja, silvicultura e petroquímica, com enfoque na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e na promoção de práticas produtivas mais sustentáveis. O Plano Estadual de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC+RS) já estrutura ações concretas com impacto direto sobre cadeias produtivas como pecuária, arroz, silvicultura e soja, com foco na redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e no estímulo à produção sustentável (Rio Grande do Sul, 2025h). O plano prioriza seis tecnologias reconhecidas por seu potencial de mitigação: a recuperação de pastagens degradadas, o sistema de plantio direto, a fixação biológica de nitrogênio, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o tratamento de dejetos animais e o manejo de florestas plantadas.

O estado também dispõe de um conjunto de instrumentos transversais que influenciam essas cadeias produtivas de forma indireta, mas estratégica. Programas relevantes incluem o Programa Energia Forte no Campo, que promove a eficiência energética e a geração de energia por fontes limpas nas zonas rurais, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis (Rio Grande do Sul, 2025d); o Comitê Científico de Adaptação e Resiliência Climática, instância de apoio técnico-científico ao Plano Rio Grande, que subsidia decisões públicas com base em evidências e promove a articulação entre ciência, governo e sociedade (Rio Grande do Sul, 2025e); e o Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas (FGMC), que integra diversos setores do governo e fomenta a governança climática, o financiamento de ações e o engajamento da sociedade (Rio Grande do Sul, 2025i).

Também merece destaque o Plano Estadual de Revitalização de Bacias Hidrográficas, voltado à

recuperação de APPs, nascentes e segurança hídrica, com impacto direto sobre a agricultura familiar e a sustentabilidade do uso da água (Rio Grande do Sul, 2025k). Ainda no âmbito da transversalidade, o Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável articula crescimento econômico, práticas agropecuárias de baixo carbono, segurança hídrica, energias renováveis e adaptação regionalizada, sendo peça-chave para alinhar desenvolvimento e metas climáticas (Rio Grande do Sul, 2025g).

Além dos instrumentos já mencionados, destacam-se ainda o ProClima2050, que estabelece diretrizes de longo prazo para mitigação e adaptação, e a Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas (PGMC), que serve de base legal para as ações climáticas estaduais (Rio Grande do Sul, 2025f). O ProClima2050 estrutura sua atuação em três pilares: resiliência climática, transição energética e desenvolvimento de baixo carbono, com metas e objetivos fixados para o horizonte de 2050 (Rio Grande do Sul, 2025i). A PGMC assegura a compatibilização entre o desenvolvimento econômico estadual e os objetivos de estabilização climática de longo prazo.

O Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PEPSA) (Rio Grande do Sul, 2025j) e o Programa Estadual de Recuperação da Vegetação Nativa do Estado do Rio Grande do Sul (PROVEG-RS) também contribuem, ao reconhecer e estimular práticas de conservação e restauração em áreas agrícolas e florestais, promovendo co-benefícios ambientais nos territórios produtivos (Rio Grande do Sul, 2025m).

As políticas e programas em vigor demonstram que o Rio Grande do Sul já iniciou o caminho da transição climática em setores-chave de sua economia. No entanto, os próximos passos exigem a integração efetiva entre iniciativas setoriais e instrumentos estruturantes, o fortalecimento da governança climática interinstitucional, e o aperfeiçoamento dos mecanismos de monitoramento e avaliação. A consolidação de uma estratégia robusta de mitigação das emissões passa, assim, pela coerência entre ações setoriais e transversais, garantindo que os esforços de desenvolvimento produtivo sejam compatíveis com os compromissos climáticos e a sustentabilidade de longo prazo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Estatísticas mensais da cadeia da Soja**. 2025. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 15 mai. 2025.

AGEFLOR. **O setor de base florestal no Rio Grande do Sul 2025**: Ano base 2023/2024. 2025. Disponível em: <https://ageflor.com.br/wp-content/uploads/2025/03/AGEFLOR-O-SETOR-DE-BASE-FLORESTAL-NO-RIO-GRANDE-DO-SUL-2025-ANO-BASE-2023.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Produção Nacional de Derivados de Petróleo (metros cúbicos)**. 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos/de/arquivos-processamento-de-petroleo-e-producao-de-derivados/producao-derivados-m3.xls>. Acesso em: 11 mar. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel**. 2025b. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel#:~:text=O%20Painel%20Din%C3%A2mico%20de%20Produtores,partir%20do%20uso%20dessa%20ferramenta>. Acesso em: 14 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA (ABRACAL). **Calcário agrícola - Brasil - consumo aparente por estado - período 1994/2024 (em 1.000 t)**. RC, 23 abr. 2025. Disponível em: <https://abracal.com.br/site/wp-content/uploads/2025/05/CONSUMO-APARENTE-BR-1994-A-2024.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2025.

BAYER, C. et al. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled greenhouse gas emission from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, v. 145, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.001>

Be8. Relatório de Sustentabilidade 2023. 2024. Disponível em: <https://www.be8energy.com/pt/publicacoes/Visualizar/relatorio-de-sustentabilidade-2023#book/>. Acesso em: 03 abr. 2025.

Be8. Relatório de Sustentabilidade 2022. 2023. Disponível em: <https://www.be8energy.com/pt/publicacoes/Visualizar/relatorio-de-sustentabilidade-2022#book/>. Acesso em: 03 abr. 2025.

Be8. Relatório de Sustentabilidade 2021. 2022. Disponível em: <https://www.be8energy.com/pt/publicacoes/Visualizar/relatorio-de-sustentabilidade-2021#book/>. Acesso em: 03 abr. 2025.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2024: ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 1 mai. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas – LULUCF**. 314p. Brasília: MCTI, 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 17 mar. 2025

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações. **Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Cultivo de Arroz**. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. 102p. Brasília, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 25 abr. 2025.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações. **Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetores solos manejados, calagem e aplicação de ureia**. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. 148p. Brasília, 2020c. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 25 abr. 2025.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações. **Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Fermentação Entérica**. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. 143p. Brasília, 2020d. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 25 abr. 2025.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações. **Relatório de Referência: Setor Agropecuária Subsetor Manejo de Dejetos**. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. 142p. Brasília, 2020e. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 25 abr. 2025.

BRASIL. Ministério de Minase Energia. **Relatório de Atividades: Infraestrutura para movimentação de derivados de petróleo ao Conselho Nacional de Política Energética** (Decreto nº 9.928, de 22 de julho de 2019). 2020f. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/abastece-brasil/subcomites/RelatorioSubcomitNovoCenrioDownstreamInfraestruturav19v2final.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Exportação de produtos florestais: base de dados abertos**. Brasília: MDIC, 2025a. Disponível em: https://dados.florestal.gov.br/pt_BR/dataset/exportacao-produtos-florestais. Acesso em: 6 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Importação de produtos florestais: base de dados abertos**. Brasília: MDIC, 2025b. Disponível em: https://dados.florestal.gov.br/pt_BR/dataset/importacao-de-produtos-florestais. Acesso em: 6 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações. **Fator médio - Inventários corporativos**. Brasília, 2025c. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 28 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Secretaria de Comércio Exterior. **Estatísticas de Comércio Exterior em Dados Abertos**. Brasília: MDIC, 2025d. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/comercio-exterior/estatisticas/base-de-dados-bruta>. Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Secretaria de Comércio Exterior. **Comex Stat – Dados por Municípios**. Brasília: MDIC, 2025e. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/municipio>. Acesso em: 28 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Sistema de Informações Gerenciais do Serviço de Inspeção Federal – SIGSIF. 2025f. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/pga_sigsif/pages/view/sigsif/relatorioproducao/. Acesso em: 05 mai. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Agrostat - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. 2025g. Disponível em: <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/Agrostat/Agrostat.html>. Acesso em: 03 abr. 2025.

CERRI, C. E., et al. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, v. 64, n. 1, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000100013>

COUTINHO, A. C. et al. **Estudo e diagnóstico para balanço agroenergético em propriedade rural produtora de leite**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (SENDI), 18., 2008, Olinda. Anais [...]. Olinda: SENDI, 2008. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/01/Estudo-e-Diagno%CC%81stico-para-Balanc%CC%A7o-Agro-energe%CC%81tico-em-Propriedade-Rural-Produtora-de-Leite.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Malha rodoviária federal do Brasil**. Brasília, 2023. Disponível em: [https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTPrRmYs5AAAdiNr?path=%2FSNV%20Bases%20Geom%20C3%A9tricas%20\(2013-Atual\)%20\(SHP\)](https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTPrRmYs5AAAdiNr?path=%2FSNV%20Bases%20Geom%20C3%A9tricas%20(2013-Atual)%20(SHP)). Acesso em: 12 mai. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Anuário Leite 2024**. 2024. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1164754/1/Anuario-Leite-2024.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Degradação de Pastagens. O que é e como evitar**. Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070416/1/TC1117CartilhaPastagemV04.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>. Acesso em: 03 jun. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Espécies oleaginosas alternativas para produção de biodiesel**. 2012. Disponível em <https://www.embrapa.br/documents/1354377/1753093/Especies-oleaginosas-alternativas-producao-biodiesel-Vanessa-Quitete.pdf/10bff51f-a328-4cdd-b4f2-dbeab26435a4?version=1.0>. Acesso em: 05 jun. 2025.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016. **XL Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul**; organizada por Ana Cláudia Barneche de Oliveira e Ana Paula Schneid Afonso da Rosa Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014

ESTEVAM, C. G.; PAVÃO, E. M.; ASSAD, E. **Quantificação das emissões de GEE no setor agropecuário: fatores de emissão, métricas e metodologias**. São Paulo: Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas – FGV, 2023. Acesso em: 12 mai. 2025.

ESTEVAM, C. G. et al. **Potencial de Mitigação de Gases de Efeito Estufa das Ações de Descarbonização da Produção de Soja até 2030**. Fundação Getúlio Vargas, 2023. Disponível em: <https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-05/Artigo5.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2025.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – FAPERGS. **Edital FAPERGS/SEMA 05/2023: Monitoramento de Gases de Efeito Estufa nos Campos e nas Florestas**. 2023. Disponível em: <https://fapergs.rs.gov.br/edital-fapergs-sema-05-2023-monitoramento-de-gases-de-efeito-estufa-nos-campos-e-nas-florestas>. Acesso em: 6 ago. 2025.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia: resultados e premissas para o cálculo das emissões do ciclo de vida do produto**. São Paulo: FGVces/EAESP-FGV, 2019. 151 p. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/46af8a6a-58d4-4bee-8463-595975248261>. Acesso em: 15 mai. 2025.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Planilha de cálculo do Programa Brasileiro GHG Protocol: versão 2025.0.1**. São Paulo: FGVces, 2025. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 17 mar. 2025.

GENRO, T. C. M.; de LARA, D. M.; LAMPERTI, V. do N. **Análise das emissões de metano entérico do rebanho de bovinos de corte do Rio Grande do Sul**. Embrapa. Comunicado técnico. Bagé, RS, 2023. Acesso em: 08 mai. 2025.

GENRO, T. C. M. et al. **Emissões de metano entérico por bovinos de corte em pastagem natural com distintos níveis de intensificação**. In: SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; COSTA, M. de S. N. (org.). Coletânea de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira. Brasília, DF: MAPA: SENAR, 2020. 08 mai. 2025.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S. et al. **Using Life Cycle Assessment methodology to assess UHT milk production in Portugal**. Science of the Total Environment, [S.l.], v. 442, p. 225–234, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969712013174>. Acesso em: 11 mai. 2025.

GOOGLE. **Google Maps**. 2025. Disponível em: <https://www.google.com/maps>. Acesso em: 21 mar. 2025.

ICLEI. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa do Rio Grande do Sul**. Jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. In: **IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática**. Rio de Janeiro, 2024a, tab. 291. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/291>. Acesso em: 6 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola Municipal. In: **IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática**. Rio de Janeiro, 2024b, tab. 5457. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 18 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Organização do Território - Malha Municipal**. Rio de Janeiro, 2024c. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 25 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa da Pecuária Municipal. In: **IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática**. Rio de Janeiro, 2024d, tab. 74. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/74>. Acesso em: 18 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa da Pecuária Municipal. In: **IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática**. Rio de Janeiro, 2024e, tab. 94. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/94>. Acesso em: 18 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Área territorial - Brasil, Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios. 2024f. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html>. Acesso em 29 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário de 2006. In: **IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática**. Rio de Janeiro, 2006, tab. 919. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/919>. Acesso em: 18 abr. 2025.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **RS já semeou 90% da safra de arroz**. Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/rs-ja-semeou-90-da-safra-de-arroz>. Acesso em: 13 mai. 2025.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Custo de produção do arroz irrigado médio ponderado no Rio Grande do Sul. Sistema de Cultivo Mínimo (semi-direto)**. Safra 2022/23. Porto Alegre, 2023. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/custos-de-producao>. Acesso em: 25 abr. 2025.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Produção Municipal. **Safra 2023/2024**. Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/colheita>. Acesso em: 25 abr. 2025.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Boletim de Resultados**. Porto Alegre, 2025a. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/boletim-de-resultados>. Acesso em: 25 abr. 2025.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Beneficiamento anual**. Porto Alegre, 2025b. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/taxa-cdo-60771d2033323>. Acesso em: 25 abr. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Genebra: IPCC, 2003. Disponível em: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf. Acesso em: 8 abr. 2025

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Harvested wood products. In: IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volume 4: agriculture, forestry and other land use**. Genebra: IPCC, 2006a. Cap. 12. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_12_Ch12_HWP.pdf. Acesso em: 8 abr. 2025

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. In: IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volume 4: agriculture, forestry and other land use**. Genebra: IPCC, 2006b. Cap. 11. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf. Acesso em: 8 mai. 2025

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Cropland. In: IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volume 4: agriculture, forestry and other land use**. Genebra: IPCC, 2006c. Cap. 11. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_05_Ch5_Cropland.pdf. Acesso em: 8 mai. 2025

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Volume 4: agriculture, forestry and other land use. In: IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Genebra: IPCC, 2006d. Cap. 11. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: 8 mai. 2025

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Harvested wood products. In: IPCC. 2019. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volume 4: agriculture, forestry and other land use**. Genebra: IPCC, 2019a. Cap. 12. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch12_HarvestedWoodProducts.pdf. Acesso em: 8 abr. 2025

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). IPCC Waste Model. In: IPCC. 2019. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volume 4: agriculture, forestry and other land use**. Genebra: IPCC, 2019b. Cap. 10. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>. Acesso em: 8 mai. 2025

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Fugitive Emissions. In: IPCC. 2019. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volume 2: Energy**. Genebra: IPCC, 2019c. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/2_Volume2/19R_V2_4_Ch04_Fugitive_Emissions.pdf

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Emissions from livestock and manure management. In: IPCC. 2019. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volume 4: agriculture, forestry and other land use**. Genebra: IPCC, 2019d. Cap. 10. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf. Acesso em: 8 mai. 2025

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. In: IPCC. 2019. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volume 4: agriculture, forestry and other land use**. Genebra: IPCC, 2019e. Cap. 11. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf. Acesso em: 8 mai. 2025

INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION (IFA). **Fertilizer use by crop and country for the 2017–2018 period**. Paris: IFA, 2022. Disponível em: <https://www.ifastat.org/consumption/fertilizer-use-by-crop>. Acesso em: 5 mai. 2025.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; JESUS, F. V. de. **Doses de nitrogênio, via ureia e nitrato de amônio, em cobertura no milho safrinha em sucessão à soja**. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, 2013.

LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO (LAPIG). **Atlas das Pastagens**. Universidade Federal de Goiás, 2025. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>. Acesso em: 5 mai. 2025.

MAIA, S. M. F. et al. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706108003406>. Acesso em: 5 mai. 2025.

MAPBIOMAS. **Plataforma - MapBiomas Brasil**, 2025. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 14 abr. 2025.

MARTIN, T. N. et al. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina safras 2022/2023 e 2023/2024. Santa Maria: Editora GR, 2022.

MESSER. **Propene**. 2025. Disponível em: <https://www.messergroup.com/documents/921887/0/Propen+%281%29.pdf/12b5a54b-bbcd-579e-f183-56adca90ae4e?t=1681909315872>. Acesso em: 11 mar. 2025

NUNES, F. A. et al. Life cycle greenhouse gas emissions from rice production systems in Brazil: A comparison between minimal tillage and organic farming. **Journal of Cleaner Production**. v. 139, p. 799-809, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.106>

OLFAR. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. 2024. Disponível em: https://www.olfar.ind.br/wp-content/uploads/2024/11/relatorio-de-sustentabilidade-grupo-olfar-2023_compressed_compressed.pdf. Acesso em: 03 abr. 2025.

OLIVEIRA, D. M. S. et al. **Crop, livestock, and forestry integration to reconcile soil health, food production, and climate change mitigation in the Brazilian Cerrado: A review**. *Geoderma Regional*, v. 37, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00796>

POLO. **Quem somos**. 2025. Disponível em: <https://www.falecomopolo.com.br/quem-somos>. Acesso em: 18 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. **Balanco Energético do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMA, 2023a. [Não publicado]. Obtido por comunicação pessoal em: 6 mai. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Departamento de Economia e Estatística. **DEE Setorial n.º 1: Refino de Petróleo**. Porto Alegre: SPGG/DEE, 2024a. Disponível em: <https://dee.rs.gov.br/upload/arquivos/202410/29122140-dee-setorial-1-refino-de-petroleo-1.pdf>. Acesso em: 7 mai. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Nota Técnica n.º 99: Estatísticas das exportações do Rio Grande do Sul – janeiro a agosto de 2024**. Porto Alegre: Departamento de Economia e Estatística, 2024b. Disponível em: <https://admin.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202409/nt-dee-99-estati-sticas-das-exportac-o-es-do-rio-grande-do-sul-janeiro-a-agosto-de-2024.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul (SEAPI). **Planilha Declaração dos bovinos 2018-2023**. Dados não publicados. Porto Alegre, 2025a.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul (SEAPI). **Planilha Movimentação bovinos 2018-2023**. Dados não publicados. Porto Alegre, 2025b.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Fazenda (SEFAZ). **Planilha Carne Bovina 2018-2023**. Dados não publicados. Porto Alegre, 2025c.

RIO GRANDE DO SUL. **Energia Forte no Campo**. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. 2025d. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/programa-energia-forte-no-campo>. Acesso em: 6 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Comitê Científico de Adaptação e Resiliência Climática do Plano Rio Grande**. Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia. 2025e. Disponível em: <https://sict.rs.gov.br/comitecientifico>. Acesso em: 6 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Operação Terra Forte – Programa de Recuperação Socioprodutiva, Ambiental e de Resiliência Climática da Agricultura Familiar Gaúcha**. Secretaria de Desenvolvimento Rural. 2025e. Disponível em: <https://www.sdr.rs.gov.br/programa-operacao-terra-forte>. Acesso em: 5 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas (PGMC)**. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. 2025f. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/rs/lei-ordinaria-n-13594-2010-rio-grande-do-sul-institui-a-politica-gaucha-sobre-mudancas-climaticas-pgmc-fixando-seus-objetivos-principios-diretrizes-e-instrumentos-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 5 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável**. 2025g. Disponível em: <https://planoriogrande.rs.gov.br/desenvolvimento>. Acesso em: 6 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano Estadual de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC+RS)**. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. 2025h. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/projeto-abc-rs>. Acesso em: 5 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **ProClima2050 – Estratégias para o Enfrentamento das Mudanças Climáticas**. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. 2025i. Disponível em: <https://www.proclima2050.rs.gov.br/inicial>. Acesso em: 5 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PEPSA)**. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. 2025j. Disponível em: <https://www.proclima2050.rs.gov.br/pagamento-por-servicos-ambientais-66a3f29044d14>. Acesso em: 5 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Programa Estadual de Revitalização de Bacias Hidrográficas**. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. 2025k. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/revitalizacao-de-bacias>. Acesso em: 6 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas**. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. 2025l. Disponível em: <https://proclima2050.rs.gov.br/forum-gaucha-de-mudancas-climaticas>. Acesso em: 6 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Programa Estadual de Recuperação da Vegetação Nativa do Estado do Rio Grande do Sul (PROVEG-RS)**. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. 2025m. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/proveg-rs>. Acesso em: 5 ago. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Estatísticas das exportações do Rio Grande do Sul - 2024**. 2025n. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202501/nt-dee-105-estati-sticas-das-exportac-o-es-do-rio-grande-do-sul-2024-1.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Painel do Agronegócio do Rio Grande do Sul – 2024**. Porto Alegre: SPGG, 2024c. Disponível em: <https://admin.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202408/painel-do-agronegocio-do-rio-grande-do-sul-2024-3-1.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável**. Plano Rio Grande. 2024d. Disponível em: <https://planoriogrande.rs.gov.br/desenvolvimento>. Acesso em: 21 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha**. 2019. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/201909/04160605-revist-final-revisada.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha**. 2020. Disponível em: <https://admin.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202009/26185534-radiografia-da-agropecuaria-gaucha-2020-1.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Radiografia da Agropecuária RS**. 2021. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202109/03160237-revista-radiografia-agropecuaria-rs-2021.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Radiografia da agropecuária Gaúcha**. 2022. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202209/01082325-rag-2022.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Radiografia Agropecuária Gaúcha**. 2023b. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202309/14115058-rag-2023-ebook-2-14-09.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Radiografia Agropecuária Gaúcha**. 2024e. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202408/26113434-rag-2024-22-08-24-final-capa-atualizada.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ROCHA, D. T. da; CARVALHO, G. R.; RESENDE, J. C. de. **Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2020. 15 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124858>. Acesso em: 21 mar. 2025.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Base de Dados de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2023): Estados e biomas. v12.0.** Piracicaba: Observatório do Clima, 2024a. Disponível em: <https://seeg.eco.br/dados/>. Acesso em: 12 mai. 2025.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1990-2023): Mudanças de Uso da Terra e Florestas (MUT).** Versão 12. 94p. Piracicaba, 2024b. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/territorio/rio-grande-do-sul>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2022): Agropecuária.** Versão 11. 201p. Piracicaba, 2024c. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2025/04/SEEG12-NM-AGROPECUARIA-BR.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Estimativa de emissões de gases de efeito estufa dos sistemas alimentares no Brasil.** São Paulo: Observatório do Clima, out. 2023. Disponível em: https://oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/10/SEEG_alimentares.pdf. Acesso em: 05 mai. 2025.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa: Rio Grande do Sul – 2023.** v12.1.4. Piracicaba, 2025. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/territorio/rio-grande-do-sul>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Reunião técnica de cultura do arroz irrigado, 08 a 10 de agosto de 2018. Farroupilha, RS. 205p. 2018. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/201812/06085952-recomendacoes-tecnicas-sosbai.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2025.

ZHAO, Z. et al. **Life cycle assessment of primary energy demand and greenhouse gas (GHG) emissions of four propylene production pathways in China.** Journal of Cleaner Production, [S.l.], v. 163, p. 285-292, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.099>. Acesso em: 04 abr. 2025.

ANEXO A – Premissas e Metodologia de cálculo por cadeia produtiva

A.1. PETROQUÍMICA

As premissas e metodologias de cálculo utilizadas para a cadeia petroquímica serão apresentadas por etapa do recorte metodológico considerado.

A.1.1. Refinaria: Produção de Nafta e Propeno

A Refinaria Riograndense forneceu dados primários de Nafta ao Polo Petroquímico do RS nos anos de 2022 e 2023. Nos demais anos, não houve fornecimento de insumos ao Polo. Os dados de fornecimento de Nafta e Propeno da Refinaria Alberto Pasqualini (Refap) ao Polo Petroquímico de Triunfo não foram disponibilizados e, por isso, foi considerado conservadoramente que toda a produção de Nafta e Propeno produzido pela Refap foi direcionada pelo Polo.

A produção anual de Nafta e Propeno da Refap foi obtida da Agência Nacional do Petróleo – ANP (2025a), a qual publica informações de produtos derivados do petróleo por refinaria em m³ para todos os anos da série histórica considerada. Para a conversão da produção de Nafta de m³ para toneladas a fim de serem calculadas as emissões, utilizou-se a densidade da Nafta fornecida pelo Balanço Energético Nacional (Brasil, 2024) de 702 kg de Nafta por m³. Para a conversão do Propeno produzido, foi empregada a densidade do gás a 0°C, conforme os dados disponibilizados no site do grupo Messer (2025), distribuidora de gases, que informa um valor de 1,91 kg/m³. A Tabela A.1 apresenta as quantidades de nafta e propeno, por ano.

Tabela A.1: **Produção de nafta e propeno das refinarias do RS utilizadas pelo polo**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Produção de Nafta (t)	208.323	236.816	713.668	606.721	497.308	263.426
Produção de Propeno (t)	332	266	298	279	197	146

Fonte: ANP (2025a) e Riograndense (dados não publicados, 2025).

Considerando a falta de dados públicos sobre as emissões diretas das refinarias e mais especificamente das emissões atribuíveis aos produtos fornecidos ao Polo Petroquímico de Triunfo-RS, realizou-se uma estimativa de emissões com base em dados de produção anual de Nafta e Propeno pelas refinarias por meio de fontes de referência, fornecidas pela Refap.

Para o cálculo das emissões diretas do processo de fabricação da Nafta, utilizou-se o banco de dados da Ecoinvent (v. 3.11), o qual dispõe de informações sobre emissões para a Nafta produzida em refinaria de petróleo (Tabela A.2).

Tabela A.2: **Emissão direta por quilo de nafta produzida – processo de produção**

CO ₂ (kg)	6,036E-02
CH ₄ (kg)	9,813E-06
N ₂ O (kg)	2,247E-06
CO ₂ não fóssil (kg)	5,602E-05

Fonte: Ecoinvent v 3.11 – Naphtha production, petroleum refinery operation | Naphtha | Cutoff, U – BR

Para o processo de fabricação do Propeno, foi adotada a premissa de que 100% do propeno é proveniente do processo de craqueamento catalítico. As emissões diretas foram calculadas com base em estudos e fatores disponíveis na literatura, com destaque ao estudo do ciclo de vida do processo de produção do Propeno (ZHAO et al., 2017), que fornece a emissão total de gases de efeito estufa da cadeia produtiva do propeno, considerando um valor de 1,60 tCO₂e por tonelada de propeno produzida por craqueamento catalítico. Com os fatores de emissão para a produção de nafta e propeno, foram estimadas as emissões totais para cada produto, conforme apresentado nas Tabelas A.3 e A.4.

Tabela A.3: Estimativa de emissões associadas à produção de Nafta – Refap e Riograndense (tCO₂e)

Ano	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O	tCO ₂ e
2018	12.574,23	2,04	0,47	12.755,51
2019	14.294,01	2,32	0,53	14.500,10
2020	43.076,47	7	1,6	43.697,52
2021	36.621,19	5,95	1,36	37.149,18
2022	30.017,10	4,88	1,12	30.449,87
2023	15.900,18	2,58	0,60	16.129,42

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela A.4: Estimativa de emissões de produção de Propeno (tCO₂e)

Ano	tCO ₂ e
2018	531,21
2019	425,87
2020	477,15
2021	446,79
2022	315,97
2023	232,89

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A partir dessas estimativas, obtêm-se os seguintes resultados estimados totais de emissões para a produção de Nafta e Propeno, conforme Tabela A.5:

Tabela A.5: Estimativa de emissões para a produção de Nafta e Propeno, por ano (tCO₂e)

Ano	tCO ₂ e
2018	13.286,73
2019	14.925,97
2020	44.174,67
2021	37.595,96
2022	30.765,85
2023	16.362,32

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.1.2. Transporte das Refinarias à Indústria de Petroquímicos Básicos (Indústrias de 1ª Geração)

As estimativas das emissões de transporte das refinarias à indústria de petroquímicos básicos foram estimadas através de duas abordagens:

Transporte da Nafta fornecida pela Refinaria Riograndense ao Polo Petroquímico de Triunfo

De acordo com dados primários fornecidos pela própria Refinaria Riograndense, a Nafta foi o único produto fornecido ao Polo e na série histórica considerada, houve fornecimento apenas nos anos de 2022 (3.611 toneladas) e 2023 (7.196 toneladas). O transporte ocorre via barcaça através de navegação de cabotagem em uma quilometragem estimada de 301,1 km.

Os seguintes fatores de emissão foram utilizados para o cálculo, conforme Tabela A.6:

Tabela A.6: Fatores de emissão para transporte via barcaça

Emissão (kg CO ₂ /t.km)	Emissão (kg CH ₄ /t.km)	Emissão (kg N ₂ O/t.km)
0,0102	0,00000012	0,00000045

Fonte: GHG Protocol 2025.0.1. Navio petroleiro. Navio Tanque (produtos químicos) (FGV, 2025)

A partir desses fatores de emissão, a Tabela A.7 apresenta os resultados encontrados para a estimativa de emissões de GEE do transporte de Nafta da refinaria Riograndense ao Polo Petroquímico de Triunfo.

Tabela A.7: Estimativa de emissões de transporte da refinaria Riograndense ao Polo Petroquímico de Triunfo (tCO₂e)

Ano	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O	tCO ₂ e
2022	11.067,0	0,13	0,49	11,20
2023	22.058,0	0,3	1,0	22,33

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Transporte da Nafta e Propeno fornecido pela Refap ao Polo Petroquímico de Triunfo

O transporte de Nafta e Propeno fornecido pela Refap ao Polo Petroquímico de Triunfo ocorre via dutos. Segundo a Refap, as emissões estão associadas ao consumo de energia elétrica utilizado para o bombeamento dos dutos. As informações de consumo de energia elétrica e/ou de emissões de CO₂e associadas a esse processo não foram fornecidas pela empresa. Dessa forma, foram estimadas utilizando-se das seguintes premissas:

- Distância percorrida pelos dutos da Refap ao Polo Petroquímico: 24,1 km (Brasil, 2020f).
- Consumo de eletricidade necessária para transportar 1 tonelada por km: 0,02 kWh (Ecoinvent 3.11 - transport, pipeline, onshore, petroleum).
- Fator de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) (Brasil, 2025c)
- Quantidade de Nafta e Propeno fornecido pela Refap (ver Tabela A.1)

A Tabela A.8 apresenta a estimativa de emissões de GEE do transporte de nafta e propeno da Refap ao Polo Petroquímico de Triunfo.

Tabela A.8: Estimativa de emissões de transporte da refinaria Refap ao Polo Petroquímico de Triunfo (tCO₂e)

Ano	Emissões tCO ₂ e
2018	7,47
2019	8,61
2020	21,33
2021	37,14
2022	10,18
2023	4,78

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A partir dessas estimativas, têm-se os seguintes resultados de emissões para essa etapa (Tabela A.9):

Tabela A.9: Estimativa de emissões de transporte de Nafta e Propeno ao Polo Petroquímico de Triunfo (tCO₂e)

Ano	Emissões tCO ₂ e
2018	7,47
2019	8,61
2020	21,33
2021	37,14
2022	21,38
2023	27,10

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.1.3. Emissões da unidade de Petroquímicos Básicos (Indústria de Primeira Geração)

Atualmente, existe no estado uma única unidade industrial de petroquímicos básicos. Os dados primários foram fornecidos pela empresa responsável. Apesar de terem sido solicitados dados abertos por categoria de emissão, para os anos de 2018-2021, a empresa forneceu dados consolidados de emissões para os escopos 1 (emissões diretas) e escopo 2 (emissões indiretas pelo consumo de energia elétrica) (Tabela A.10). Para os anos de 2022 e 2023, os dados foram abertos por categoria.

Para as emissões de escopo 2, a empresa forneceu os resultados de emissões, seguindo a abordagem de contabilização por localização e com base no critério de escolha de compra. A partir do ano de 2021, a empresa passou a reportar resultados diferentes para a abordagem de escolha de compra, onde há a comprovação de origem renovável de parte de sua energia elétrica utilizada. De forma conservadora, foram considerados na estimativa os resultados da abordagem de localização.

Tabela A.10: Emissões reportadas de escopos 1 e 2 para os anos de 2018 a 2021 – Indústrias de Primeira Geração

Ano	Escopo 1 (tCO ₂ e)	Escopo 2 (tCO ₂ e)	Total (tCO ₂ e)
2018	2.904.975,63	10.061,45	2.915.037,08
2019	2.785.392,95	6.957,69	2.792.350,64
2020	2.767.093,99	2.557,5	2.769.651,49
2021	2.824.646,12	15.307,95	2.839.954,07

Fonte: Empresa de petroquímicos básicos, 2025.

Para os anos de 2022 e 2023, foram fornecidos os dados abertos por categoria conforme metodologia GHG Protocol (Tabela A.11). As emissões de resíduos para escopo 1 foram informadas como zero¹.

Tabela A.11: Emissões reportadas de escopos 1 e 2 por categoria para os anos de 2022 a 2023 – Indústrias de Primeira Geração

Escopo	Categorias	2022	2023
1	Combustão Estacionária	2.757.355,76	2.576.434,86
1	Combustão Móvel	512,47	63,92
1	Processos Industriais	950,10	719,86
1	Emissões Fugitivas	1.160,19	993,07
1	Efluentes e Resíduos	0	0
2	Escopo 2	3.517,90	5.205,94
Total (tCO₂e)		2.763.496,42	2.583.417,65

Fonte: Empresa de petroquímicos básicos, 2025.

A.1.4. Emissões de transporte da indústria de petroquímicos básicos (1º geração) para as indústrias de resinas e intermediários (2º geração)

O transporte dos produtos finais da indústria de petroquímicos básicos para as indústrias de resinas e intermediários localizadas dentro do Polo Petroquímico de Triunfo é realizado via dutos. As emissões estão associadas ao consumo de energia elétrica para bombeamento, o que já é contabilizado pela Unidade de Petroquímicos Básicos.

origem renovável de parte de sua energia elétrica utilizada. De forma conservadora, foram considerados na estimativa os resultados da abordagem de localização.

1. As emissões de resíduos de escopo 03 e a Categoria 3 - Atividades relacionadas a combustível e energia (não incluídas no Escopo 1 ou 2) foram informadas. Contudo, não estão sendo consideradas no escopo de análise.

A.1.5. Emissões das indústrias de resinas e intermediários (Indústrias de Segunda Geração)

Foram recebidos dados primários das unidades industriais de segunda geração de três das quatro empresas atuantes no Polo.

A Empresa A reportou dados consolidados de emissões de escopos 1 e 2 para toda série histórica, com exceção do ano de 2018, onde as emissões de escopo 2 não foram reportadas. A Empresa B apresentou os dados consolidados de escopo 1 e 2 para os anos de 2018 a 2021 e dados abertos por categoria para os anos de 2022 e 2023. Já a Empresa C reportou as emissões de escopos 1 e 2 por categoria para todo o período solicitado e resultados também de escopo 3 para o ano de 2023. Apresenta-se a seguir as Tabelas A.12, A.13, A.14 e A.15 com os dados reportados por empresa e unidade industrial.

Tabela A.12: Emissões de escopos 1 e 2 reportadas pela Empresa A para os anos de 2018 a 2023

Unidade Industrial	Ano	Escopo 1 (tCO ₂ e)	Escopo 2 (tCO ₂ e)	Total (tCO ₂ e)
Unidade 1	2018	2.768	Não informado	2.768
Unidade 1	2019	1.160	28.714	29.874
Unidade 1	2020	1.627	28.874	30.501
Unidade 1	2021	2.925	35.750	38.675
Unidade 1	2022	2.801	36.964	39.765
Unidade 1	2023	2.706	30.001	32.707
Unidade 2	2018	4653	Não informado	4.653
Unidade 2	2019	3.883	16.625	20.508
Unidade 2	2020	2.668	12.097	14.765
Unidade 2	2021	3.325	14.813	18.138
Unidade 2	2022	3.354	30.018	33.372
Unidade 2	2023	2.949	44.830	47.779

Fonte: Empresa A (dados coletados, 2025).

Tabela A.13: Emissões de escopos 1 e 2 reportadas pela Empresa B para os anos de 2018 a 2021

Unidade Industrial	Ano	Escopo 1 (tCO ₂ e)	Escopo 2 (tCO ₂ e)	Total (tCO ₂ e)
Unidades 1 / 2 / 3	2018	20.551,71	37.597,52	58.149,23
Unidades 1 / 2 / 3	2019	22.157,63	36.902,49	59.060,12
Unidades 1 / 2 / 3	2020	21.639,57	29.174,59	50.814,16
Unidades 1 / 2 / 3	2021	28.019,97	130.364,37	158.384,34
Unidades 4 / 5	2018	7.191,32	34.240,92	41.432,24
Unidades 4 / 5	2019	3.462,05	36.670,74	40.132,79
Unidades 4 / 5	2020	1.921,45	29.388,74	31.310,19
Unidades 4 / 5	2021	9.390	61.603,98	70.993,98

Fonte: Empresa B (dados coletados, 2025).

Tabela A.14: Emissões de escopos 1 e 2 por categoria reportadas pela Empresa B para os anos de 2022 a 2023

Unidade Industrial	Escopo	Categorias	20233	2023
Unidades 1 / 2 / 3	1	Combustão Estacionária	34.732,31	20.653,60
Unidades 1 / 2 / 3	1	Combustão Móvel	119,39	29,56
Unidades 1 / 2 / 3	1	Emissões Fugitivas	218,89	43,85
Unidades 1 / 2 / 3	2	Escopo 2	106.717,42	16.205,66
Total (tCO ₂ e) - Unidades 1 / 2 / 3			141.788,01	36.932,67
Unidades 4 / 5	1	Combustão Estacionária	3.484,37	4.171,64
Unidades 4 / 5	1	Combustão Móvel	47,58	8,32
Unidades 4 / 5	1	Processos Industriais	1,85	0,98
Unidades 4 / 5	1	Emissões Fugitivas	5.546,74	1.495,00
Unidades 4 / 5	2	Escopo 2	37.708,69	16.464,15
Total (tCO ₂ e) - Unidades 4 / 5			46.789,23	22.140,09
Total Consolidado (tCO ₂ e)			188.577,24	59.072,76

Fonte: Empresa B (dados coletados, 2025).

Tabela A.15: Emissões de escopos 1 e 2 por categorias reportadas pela Empresa C para os anos de 2018 a 2023

Escopo	Categorias	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Combustão Estacionária	44.482	33.784	34.617	43.483	34.458	31.432
1	Combustão Móvel	154	135	178	209	189	171
1	Emissões Fugitivas	977	59	565	1.149	715	734
2	Escopo 2 - Energia Elétrica	4.898	5.178	5.017	5.709	1.560	470
2	Escopo 2 - Energia Térmica	209.455	137.221	145.305	101.902	51.899	1.384
Total (tCO ₂ e)		259.966	176.377	185.682	152.452	88.821	34.191

Fonte: Empresa C (dados coletados, 2025).

A partir dessas estimativas, têm-se os seguintes resultados de emissões para essa etapa, conforme Tabela A.16:

Tabela A.16: **Total de Emissões de escopos 1 e 2 reportadas pelas indústrias de segunda geração (tCO₂e)**

Ano	Escopo 1 (tCO ₂ e)	Escopo 2 (tCO ₂ e)	Total (tCO ₂ e)
2018	80.777,03	286.191,44	366.968,47
2019	64.640,68	261.311,23	325.951,91
2020	63.216,02	249.856,33	313.072,35
2021	88.500,97	350.142,35	438.643,32
2022	85.668,13	264.867,11	350.535,24
2023	64.394,95	109.354,81	173.749,76

Fonte: Indústrias de resinas e intermediários (dados coletados, 2025).

A.2. SILVICULTURA

As premissas e metodologias de cálculo utilizadas para a cadeia da Silvicultura serão apresentadas por etapa, considerando as diferentes ramificações da cadeia.

A.2.1. Florestas Plantadas

Nesta etapa da cadeia, são calculadas as emissões associadas à mudança de uso da terra, decorrentes da conversão de áreas em florestas plantadas, a contribuição líquida dos produtos florestais madeireiros e as emissões do manejo florestal. O estoque de carbono das florestas plantadas também é apresentado nesta seção.

A.2.1.1. Mudança de Uso da Terra

Utilizaram-se os dados previamente estimados pelo SEEG para contabilizar as emissões e remoções decorrentes da mudança no uso da terra, em consonância com a metodologia que está sendo utilizada para o Inventário de Emissões e Remoções do Estado do Rio Grande do Sul.

O SEEG utiliza a série temporal mais completa de mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomias (MapBiomias, 2025) e os métodos e fatores publicados se baseiam no Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (Brasil, 2020a) que por sua vez são associados à proposta metodológica do IPCC (2003; 2006d). Para verificar as emissões associadas à silvicultura, realizou-se um recorte para verificar as transições de uma área onde não havia floresta plantada para uma área de floresta plantada.

Apresenta-se a Tabela A.17 com o resultado das emissões associadas à mudança de uso da terra.

Tabela A.17: **Emissões/ remoções associadas à mudança de uso da terra (tCO₂e)**

Classe Inicial	Classe Final	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Alterações de uso da terra		1.296.292	1.237.919	1.611.847	7.604.256	269.100	6.083
Campo alagado	Floresta plantada	59	116	241	1.656	14	0
Formação campestre	Floresta plantada	66.361	83.361	87.815	184.769	8.772	519
Formação florestal	Floresta plantada	1.227.436	1.152.012	1.519.379	7.414.080	260.185	5.563
Restinga arborizada	Floresta plantada	1.238	753	1.279	2.852	100	0
Restinga herbácea	Floresta plantada	1.198	1.677	3.133	899	29	1
Área urbanizada	Floresta plantada	0	-36	-21	-33	-3	0
Remoção por mudança de uso da terra		-102.116	-109.749	-95.027	-92.252	-10.611	-5.955
Arroz	Floresta plantada	-166	-238	-209	-768	-28	-138
Campo alagado	Floresta plantada	-43	-65	-87	-509	-7	0
Formação campestre	Floresta plantada	-2.715	-3.122	-2.846	-5.146	-240	-47
Mineração	Floresta plantada	-24	-32	-12	-41	0	0
Mosaico de agricultura e pastagem	Floresta plantada	-6.190	-7.804	-8.484	-21.003	-420	-44
Outras áreas não vegetadas	Floresta plantada	-22.506	-29.181	-21.888	-13.457	-3.483	-1.529
Outras lavouras temporárias	Floresta plantada	-33.264	-25.322	-21.919	-24.169	-2.781	-2.520
Pastagem	Floresta plantada	-31.906	-33.360	-33.960	-21.604	-3.054	-1.472
Praia, duna e areal	Floresta plantada	-431	-776	-381	-226	-41	-32
Restinga arborizada	Floresta plantada	-388	-433	-690	-754	-24	0
Restinga herbácea	Floresta plantada	-847	-1.166	-1.956	-1.307	-44	0
Soja	Floresta plantada	-3.636	-8.214	-2.574	-3.235	-486	-173
Resíduos florestais		74.595	74.614	86.392	432.860	10.387	265
Campo alagado	Floresta plantada	1	3	79	930	0	0
Formação campestre	Floresta plantada	4.680	5.691	4.799	9.344	2.060	26
Formação florestal	Floresta plantada	69.831	68.805	81.252	422.438	8.325	239
Restinga arborizada	Floresta plantada	34	29	43	117	2	0
Restinga herbácea	Floresta plantada	49	86	219	31	0	0
Total		1.268.771	1.202.784	1.603.212	7.944.864	268.876	393

Fonte: SEEG (2024a).

Embora esta metodologia tenha sido utilizada para o setor de silvicultura, entende-se que há uma subestimação da contribuição do setor para a remoção de CO₂ quando há conversão de áreas em florestas plantadas. Isto porque o método utilizado considera que há perda de todo o estoque de carbono da classe inicial e considera-se apenas o incremento anual durante apenas 1 ano para a classe final como remoção (10,36 tC/ha), embora estas árvores continuem crescendo durante os anos seguintes e o estoque médio seja de 42,1 tC/ha (Brasil, 2020a).

A.2.1.2. Contribuição dos produtos florestais madeireiros

Durante o crescimento das árvores, ocorre o sequestro de CO₂ da atmosfera, resultando na remoção de carbono. Conforme metodologia do IPCC (2006a; 2019a) para cálculo de emissões e remoções de carbono a partir de produtos florestais madeireiros colhidos, seguido pelo Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (Brasil, 2020a), na colheita há uma transferência de carbono sob a forma de biomassa da árvore para a madeira colhida (H), que é expresso como remoção de carbono.

Esta transferência de carbono é calculada com dados da colheita da madeira decorrente de florestas plantadas (silvicultura), considerando a produção de madeira em tora e lenha. Os dados de produção de madeira em tora e lenha no RS para os anos de 2018 a 2023 foram obtidos a partir de base de dados do IBGE, conforme Tabela A.18.

Tabela A.18: Produção de madeira no Rio Grande do Sul

Ano	Madeira em tora (RS) m ³	Lenha (RS) m ³
2018	13.694.146	13.124.327
2019	14.126.643	12.192.489
2020	13.990.070	11.836.647
2021	15.074.357	11.316.306
2022	15.560.959	11.494.868
2023	15.949.760	12.178.696

Fonte: IBGE (2025a).

Para converter a quantidade de madeira colhida em m³ para Carbono (C), utilizou-se o fator de conversão fornecido pelo IPCC (2019a) de 0,229 C/m³. Além disso, conforme recomendado pelo IPCC (2006a), aplicou-se o fator de casca (1,13) aos dados de madeira em tora, para ajuste de madeira colhida, alcançando-se, assim, os dados de carbono e CO₂ removidos da atmosfera (Tabela A.19).

Tabela A.19: Remoções decorrentes da colheita de madeira plantada

Ano	Colheita (Gg C /ano)	Colheita (Gg CO ₂ /ano)
2018	6.549	24.013
2019	6.448	23.641
2020	6.331	23.213
2021	6.492	23.805
2022	6.659	24.416
2023	6.916	25.360

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Ao transformar a madeira em Produto Florestal Madeireiro (PFM), o carbono do CO₂ originalmente sequestrado pela vegetação é transferido para o reservatório dos PFM. Durante o uso destes produtos, este carbono retorna para a atmosfera, no mesmo ano, quando há combustão da madeira, ou ao longo dos anos.

A metodologia para cálculo de emissões e remoções de carbono a partir de produtos florestais madeireiros colhidos (IPCC, 2006a; 2019a) possibilita realizar uma estimativa das alterações anuais das reservas de carbono em todos os depósitos relevantes (produtos em uso e em locais de disposição de resíduos). Se, durante o ano em análise, houver um aumento de carbono estocado no local, entende-se que houve uma remoção de carbono associados aos PFM.

As alterações das reservas de carbono nos vários reservatórios podem então ser combinadas e convertidas em emissões e remoções de CO₂. Apresenta-se abaixo as equações para calcular a contribuição dos PFM para as emissões/remoções líquidas de CO₂ para o setor, considerando a abordagem de fluxo atmosférico (AFA) (equação 12A.4 – IPCC, 2006a):

Equação 1

$$\text{Contribuição PFM para as emissões/remoções líquidas de CO}_{2\text{AFA}} = -44/12 * [H - \uparrow C_{\text{PFM DC}}]$$

Equação 2

$$\uparrow C_{\text{PFM DC}} = H + \text{PIM} - \text{PEX} - \Delta C_{\text{PFM IU DC}} - \Delta C_{\text{PFM SWDS DC}}$$

Onde:

$\uparrow C_{\text{PFM DC}}$: emissão anual de carbono proveniente dos estoques de madeira

$\Delta C_{\text{PFM SWDS DC}}$: Variação anual de estoque de carbono em PFM em uso, decorrente do consumo doméstico de produtos.

$\Delta C_{\text{PFM SWDS DC}}$: Variação anual de estoque de carbono em PFM em locais de disposição de resíduos, decorrente do consumo doméstico de produtos.

P_{EX} : transferência de carbono sob a forma de exportações de PFM

P_{IM} : transferência de carbono na forma de importações de PFM

H: transferência de carbono sob a forma de biomassa de madeira abatida transportada de locais de colheita

Para o cálculo de produção, importação e exportação de PFM, incluindo madeira serrada, painéis de madeira, papel e papelão, dentre outros (conforme IPCC, 2019a e Brasil, 2020a), foram utilizados os dados da FAO. Assim como no inventário nacional (Brasil, 2020a), os dados de produção de PFM de florestas plantadas foram obtidos estimando-se a proporção de produção de toras industriais oriundas de florestas plantadas em relação ao total produzido (que engloba a produção oriunda de florestas plantadas e de extrativismo) (IBGE, 2024a).

Um segundo ajuste nos dados foi necessário, em razão da FAO não disponibilizar dados por unidade federativa, mas apenas para o Brasil. Para estimar a produção do RS de PFM (dado disponibilizado pela FAO para o Brasil e não por unidade federativa), utilizou-se a base de dados do IBGE (2024a) contendo dados de produção do Brasil e RS para Lenha e Madeira em tora, dentre outras subdivisões.

A representatividade do RS em relação ao Brasil foi calculada para os anos de 1986 a 2023 com dados diretos do IBGE e para os anos anteriores a 1986 foi realizada uma média dos anos disponíveis. Os dados de representatividade do RS em relação ao Brasil foram obtidos para lenha e madeira em tora considerando as duas subdivisões: Madeira em tora para papel e celulose e madeira em tora para outras finalidades. Esse percentual foi aplicado para as diferentes categorias de produtos disponíveis na FAO.

A Tabela A.20 apresenta a representatividade da produção de produtos madeireiros oriundos da atividade de Silvicultura para os anos de 2018 a 2023 (para demais anos, ver IBGE, 2024a).

Tabela A.20: Representatividade do RS na produção brasileira de PFM

Ano	Tipo de produto da silvicultura	Representatividade (RS/Brasil)
2018	1.2 - Lenha	25,0%
2019	1.3 - Madeira em tora	9,4%
2020	1.3.1 - Madeira em tora para papel e celulose	7,7%
2021	1.3.2 - Madeira em tora para outras finalidades	12,3%
2022	1.2 - Lenha	23,8%
2023	1.3 - Madeira em tora	10,8%
2018	1.3.1 - Madeira em tora para papel e celulose	11,0%
2019	1.3.2 - Madeira em tora para outras finalidades	10,4%
2020	1.2 - Lenha	23,5%
2021	1.3 - Madeira em tora	9,8%

Ano	Tipo de produto da silvicultura	Representatividade (RS/Brasil)
2022	1.3.1 - Madeira em tora para papel e celulose	8,7%
2023	1.3.2 - Madeira em tora para outras finalidades	11,4%
2018	1.2 - Lenha	21,9%
2019	1.3 - Madeira em tora	10,1%
2020	1.3.1 - Madeira em tora para papel e celulose	8,9%
2021	1.3.2 - Madeira em tora para outras finalidades	12,1%
2022	1.2 - Lenha	21,8%
2023	1.3 - Madeira em tora	9,2%
2018	1.3.1 - Madeira em tora para papel e celulose	7,4%
2019	1.3.2 - Madeira em tora para outras finalidades	12,7%
2020	1.2 - Lenha	21,9%
2021	1.3 - Madeira em tora	9,2%
2022	1.3.1 - Madeira em tora para papel e celulose	6,9%
2023	1.3.2 - Madeira em tora para outras finalidades	13,5%

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2024a).

Para a importação e exportação de produtos madeireiros, os ajustes nos dados da FAO para estimativa dos dados para o RS foram realizados utilizando-se os dados da Comex Stat, sistema oficial para extração das estatísticas do comércio exterior brasileiro de bens (Brasil, 2025a, 2025b). Com estes dados, foi calculada a representatividade das exportações e importações do RS em relação ao Brasil, por tipo de produto, e este percentual foi aplicado aos dados da FAO.

Esta base de dados disponibiliza dados a partir de 1997. Para os dados anteriores a esta data, foi utilizada a média dos dados disponíveis e aplicado aos dados da FAO. As Tabelas A.21 e A.22 apresentam a representatividade dos dados de 2023 de exportação e importação de PFM (categorias similares àquelas indicadas pelo IPCC, 2019a). Para os demais anos, ver Brasil (2025a) e Brasil (2025b).

Tabela A.21: Representatividade do RS na exportação brasileira de PFM

Produto Florestal Madeireiro	Representatividade
Carvão vegetal	76,96%
Cavacos e partículas	53,31%
Celulose (polpa de madeira)	8,53%
Madeira serrada	20,41%
Painéis de madeira	4,67%
Papel e cartão	0,96%
Papel recuperado para reciclagem	1,78%
Serragem e resíduos de madeira	35,27%

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2025a).

Tabela A.22: Representatividade do RS na importação brasileira de PFM

Produto Florestal Madeireiro	Representatividade
Carvão vegetal	0,01%
Cavacos e partículas	0,16%

Produto Florestal Madeireiro	Representatividade
Celulose (polpa de madeira)	0,27%
Madeira em tora	3,54%
Madeira serrada	19,50%
Painéis de madeira	6,41%
Papel e cartão	8,46%
Papel recuperado para reciclagem	31,40%

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2025a).

Para a estimativa da importação (PIM) e exportação (PEX) de carbono por meio de PFM, utilizou-se os dados disponibilizados pela FAO para exportação e importação com os ajustes descritos acima. Os fatores de conversão de m³ para C para cada tipo de PFM importados ou exportados foram obtidos do IPCC (2019a). Apresenta-se abaixo o resultado da importação e exportação de PFM, em Gg de Carbono (Tabela A.23).

Tabela A.23: Importação e exportação de PFM (em Gg C ano⁻¹)

Ano	PIM (Carbono em Gg C ano ⁻¹)	PEX (Carbono em Gg C ano ⁻¹)
2018	18,3	949,7
2019	16,9	1.317,3
2020	23,4	1.231,4
2021	24,7	1.509,2
2022	16,5	1.521,2
2023	21,4	1.152,7

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A estimativa de variação de estoque de carbono de PFM em uso no RS ($\Delta_{\text{CPFM IU DC}}$) foi realizada com dados primários da FAO, com os ajustes descritos anteriormente. Para o cálculo da variável, utilizou-se as equações disponíveis no IPCC (2006a) – Equações 12.1, 12.2 e 12.6.

Tanto os dados de estimativa para taxa de crescimento de produção de madeira em toras industriais (tabela 12.3 do IPCC, 2006a) para calcular os dados de uso de produtos para antes de 1961 (dados não disponíveis na FAO), como os dados padrão para meia vida de produtos em uso (tabela 12.2 do IPCC, 2006a) foram obtidos do IPCC (2006a). A Tabela A.24 apresenta o resultado da variação de estoque de carbono de PFM em uso.

Tabela A.24: Variação do estoque de carbono de PFM em uso

Ano	$\Delta_{\text{CPFM IU DC}}$ Gg C/ano
2018	420,36
2019	354,94
2020	337,07
2021	384,05
2022	317,03
2023	404,02

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Já a variável $\Delta_{\text{CPFM SWDS DC}}$ cujo resultado expressa a variação de estoque de carbono de PFM dispostos em locais de disposição de resíduos (SWDS), foi estimada utilizando o método *First Order Decay* (FOD) e o modelo *multifásico baseado em dados de composição de resíduos*, onde as quantidades de cada tipo de resíduos são registradas separadamente. Foi utilizada a planilha disponibilizada pelo IPCC (2019b), *IPCC Waste Model*, para a realização dos cálculos.

Para estimativa da quantidade de resíduos depositados por ano em locais de deposição de resíduos no RS, os dados de população urbana no RS de 1950 a 2023 foram utilizados. As estimativas anuais foram obtidas por interpolação nos anos intercensitários, aplicando as taxas geométricas de crescimento anual da população urbana (% ao ano), às populações urbanas censitárias, nos períodos entre os censos demográficos (1950-1960; 1960-1970; 1970-1980; 1980-1991; 1991-2000; 2000-2010; 2010-2022). Para o ano 2023, foi feita extrapolação baseada na taxa de crescimento urbano do período 2010-2022. Para os demais dados necessários para o cálculo, foram utilizados os valores padrão disponibilizados pelo IPCC (2019a) (Tier 1).

Após o cálculo das variáveis descritas acima, utilizando-se as equações 1 e 2, obteve-se a estimativa das remoções associadas à colheita, das emissões de carbono decorrentes da transferência de carbono dos estoques presentes no PFM de volta para a atmosfera (expresso em CO₂) e da contribuição dos PFM para as emissões líquidas de CO₂ do setor, todos expressos em toneladas, conforme Tabela A.25.

Tabela A.25: Síntese da contribuição dos PFM

Ano	$\uparrow C_{\text{PFM DC}}$ (t C/ano)	Colheita Anual (tCO ₂ e)	Emissão anual de CO ₂ (tCO ₂)	Contribuição líquida do PFM para as emissões/remoções de CO ₂ (Fluxo atmosférico) tCO ₂ /ano
2018	5.146.406	-24.013.385	18.870.156	-5.143.229
2019	4.741.227	-23.641.315	17.384.498	-6.256.818
2020	4.734.647	-23.212.943	17.360.372	-5.852.571
2021	4.571.622	-23.804.827	16.762.615	-7.042.211
2022	4.785.347	-24.416.458	17.546.274	-6.870.184
2023	5.328.877	-25.359.550	19.539.216	-5.820.334

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Conforme Tabela A.26, de 2018 a 2023, com base na abordagem de fluxo atmosférico, os produtos florestais madeireiros produzidos por meio das florestas plantadas contribuíram com a remoção anual de mais de 5 milhões de toneladas de carbono da atmosfera no Rio Grande do Sul. Vale ressaltar que, embora a emissão esteja expressa em CO₂, parte do carbono pode ter sido transferido para a atmosfera como CH₄ (no caso de disposição em aterros, por exemplo). Contudo, conforme indicado pelo IPCC (2019a), as emissões foram expressas em CO₂. Nestas emissões estão contabilizados também o CO₂ (biogênico) da combustão da biomassa advinda das florestas plantadas.

A.2.1.3. Manejo Florestal

Para a estimativa das emissões associadas ao manejo florestal, foram utilizados dados do setor de papel e celulose fornecidos em sigilo, associados às emissões das categorias de escopos 1, 2 e 3, considerando a metodologia GHG Protocol, para as diferentes atividades do setor: florestal e indústria. Dados sobre a área de florestas plantadas (atividade de silvicultura) no estado foram obtidos das Radiografias da Agropecuária Gaúcha (Rio Grande do Sul, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023b, 2024e).

Com base nos dados obtidos de emissões no manejo florestal, as principais fontes associadas a esta atividade são o uso de combustíveis em veículos e equipamentos e as atividades agrícolas, as quais estão associadas ao uso de fertilizantes, calcário e cinza calcítica.

Na falta de dados públicos ou dados obtidos de outras entidades sobre emissões associadas ao manejo de florestas do RS, realizou-se uma estimativa de emissões a partir dos dados fornecidos por este setor. Vale ressaltar que o setor controla um percentual relevante das florestas plantadas do estado do Rio Grande do Sul, conforme Tabela A.26.

Tabela A.26: Representatividade das florestas plantadas do setor de papel e celulose

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Florestas plantadas - papel e celulose	160.981	203.905	227.672	245.632	230.568	256.734
Florestas plantadas RS	780.200	780.200	780.200	1.033.900	966.500	926.900
Representatividade - papel e celulose	20,6%	26,1%	29,2%	23,8%	23,9%	27,7%

Fonte: ANP (2025a) e Riograndense (dados não publicados, 2025).

Para a estimativa das emissões associadas às atividades agrícolas, calculou-se o volume de emissões por hectare plantado para os anos de 2018 a 2023. A partir destes resultados, realizou-se uma média ponderada das emissões anuais, alcançando uma média de 0,06 tCO₂e/hectare (Tabela A.27).

Tabela A.27: Dados do setor de papel e celulose de hectares de floresta plantada e emissão por atividades agrícolas

Ano	Emissão por atividades agrícolas(tCO ₂ e)	Hectare de floresta plantada	Emissão (tCO ₂ e) por hectare
2018	12.200	160.981	0,076
2019	11.172	203.905	0,055
2020	13.366	227.672	0,059
2021	11.304	245.632	0,046
2022	16.461	230.568	0,071
2023	14.927	256.734	0,058

Fonte: Elaboração própria com base em dados coletados (2025).

Este dado de emissão média por hectare foi utilizado para estimar as emissões de atividades agrícolas decorrentes do plantio de eucalipto, pinus e acácia para todo o estado do RS (Tabela A.28).

Tabela A.28: Emissões estaduais por atividades agrícolas (uso de fertilizantes, calcário e cinza calcítica) na silvicultura

Setor	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Celulose (tCO ₂ e)	12.200	11.172	13.366	11.304	16.461	14.927
Outros setores (tCO ₂ e)	37.107	34.535	33.110	47.237	44.101	40.160
Total	49.307	45.706	46.476	58.541	60.562	55.087

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Com relação ao uso de combustíveis em veículos e equipamentos, não foi possível, a partir dos dados obtidos do setor, diferenciar as emissões associadas ao manejo florestal, principalmente colheita, e ao transporte da madeira das florestas às fábricas, pois estas duas fontes estavam categorizadas como Transporte e Distribuição (upstream) no inventário da empresa.

Por este motivo, estas emissões associadas ao uso de combustíveis estão consolidadas na etapa denominada "uso de veículos no manejo florestal e transporte da madeira até as fábricas e demais destinos".

A.2.1.4. Estoque de carbono das florestas plantadas do RS

Para o cálculo do estoque de carbono, o estoque médio por hectare de árvore foi obtido do quarto inventário nacional de emissões e remoções de GEE (Brasil, 2020a). Já a informação da quantidade de hectares, por tipo de árvore, foi obtida dos documentos elaborados pelo governo do estado do Rio Grande do Sul, denominado Radiografia da Agropecuária Gaúcha (Rio Grande do Sul, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023b, 2024e) (Tabela A.29).

Tabela A.29: Principais espécies plantadas no Rio Grande do Sul (hectares)

Espécie plantada	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Eucalipto (ha)	426.000	426.000	426.000	668.300	592.000	589.700
Pinus (ha)	264.600	264.600	264.600	289.700	289.000	282.800
Acácia-negra (ha)	89.600	89.600	89.600	75.900	85.500	54.400
Total (ha)	780.200	780.200	780.200	1.033.900	966.500	926.900

Fonte: Radiografia da Agropecuária Gaúcha (Rio Grande do Sul, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023b, 2024e).

O Estoque de carbono (C), por ano e por tipo de árvore, é apresentado na Tabela A.30. As florestas plantadas no Rio Grande do Sul apresentaram um aumento de estoque de 18,9% entre 2018 e 2023.

Tabela A.30: Estoque de carbono (C) por ano e por tipo de árvore

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Eucalipto (C)	17.224.541	17.224.541	17.224.541	27.021.504	23.936.452	23.843.455
Pinus (C)	18.482.185	18.482.185	18.482.185	20.235.408	20.186.513	19.753.446
Acácia-negra (C)	1.934.912	1.934.912	1.934.912	1.639.061	1.846.373	1.174.768
Total	37.641.638	37.641.638	37.641.638	48.895.973	45.969.337	44.771.670

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.2.2 Uso de veículos no manejo florestal e transporte das madeiras até as fábricas e demais destinos

Nesta etapa, estão sendo consideradas as emissões associadas ao uso de veículos a combustão no manejo florestal, a exemplo das colheitadeiras, e o transporte de madeira até o seu primeiro destino. Com os dados disponibilizados pelo setor de papel e celulose, essas emissões puderam ser mensuradas para esta indústria.

As emissões associadas às demais áreas de florestas e transporte para outros destinos foram estimadas com base nas informações reportadas. Para tanto, utilizou-se os dados do IBGE de produção de produtos madeireiros oriundos da atividade de Silvicultura para os anos de 2018 a 2023 (IBGE, 2024a), conforme Tabela A.31.

Estabeleceu-se, assim, a premissa de que a madeira em tora para papel e celulose, em m³, disponibilizada pelo IBGE estava associada aos dados obtidos do setor de papel e celulose e que as emissões associadas ao uso de combustível para o manejo florestal e as emissões de transporte até o destino seriam semelhantes para a produção de lenha e madeira em tora para outras finalidades (Tabela A.32).

Tabela A.31: Dados do IBGE para quantidade produzida na silvicultura

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1.2 - Lenha (m ³)	13.124.327	12.192.489	11.836.647	11.316.306	11.494.868	12.178.696
1.3.1 - Madeira em tora para papel e celulose (m ³)	7.095.363	8.770.974	7.661.860	7.905.209	8.144.902	7.852.639
1.3.2 - Madeira em tora para outras finalidades (m ³)	6.598.783	5.355.669	6.328.210	7.169.148	7.416.057	8.097.121

Fonte: IBGE (2024a).

Tabela A.32: Emissão por m³ de madeira produzida associada ao uso de veículos no manejo florestal e transporte até as fábricas de demais destinos a partir dos dados do setor de papel e celulose

Ano	Emissão por uso de veículos e transporte (tCO ₂ e)	Emissão por uso de veículos e transporte (tCO ₂ biog)	Emissão (tCO ₂ e) por m ³	Emissão (tCO ₂ biog) por m ³
2018	58.217	5.907	0,008	0,0008
2019	55.002	6.059	0,006	0,0007
2020	137.292	16.389	0,018	0,0021
2021	126.928	14.914	0,016	0,0019
2022	108.855	11.116	0,013	0,0014
2023	107.487	13.124	0,014	0,0017

Fonte: Elaboração própria com base em dados coletados (2025).

A partir destes resultados, realizou-se uma média ponderada das emissões anuais, alcançando uma média de **0,0125 tCO₂e/m³** e **0,0014 tCO₂ biog/m³**. Este valor foi utilizado para estimar as emissões de uso de veículos no manejo florestal e transporte das florestas até as fábricas e demais destinos para toda a madeira em tora e lenha produzidas no RS (Tabela A.33).

Tabela A.33: Emissão associada uso de veículos no manejo florestal e transporte até as fábricas de demais destinos para o RS (tCO₂e)

Emissão por tipo de produto	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Madeira em tora - Celulose (tCO ₂ e)	58.217	55.002	137.292	126.928	108.855	107.487
Madeira em tora - Celulose (tCO ₂ biogênico)	5.907	6.059	16.389	14.914	11.116	13.124
Madeira em tora - outras finalidades (tCO ₂ e)	82.609	67.047	79.222	89.750	92.841	101.367
Madeira em tora - outras finalidades (tCO ₂ biogênico)	9.392	7.623	9.007	10.204	10.555	11.525
Lenha (tCO ₂ e)	164.302	152.636	148.181	141.667	143.903	152.463
Lenha (tCO ₂ biogênico)	18.680	17.354	16.847	16.106	16.361	17.334
Emissão total (tCO₂e)	305.128	274.685	364.695	358.344	345.598	361.317
Emissão total (tCO₂ biogênico)	33.978	31.035	42.243	41.225	38.031	41.982

Fonte: Elaboração própria com base em dados coletados (2025) e IBGE (2024a).

A.2.3. Indústria de Celulose

Dados de emissões dos escopos 1 e 2 (metodologia de inventários corporativos) do setor de papel e celulose no estado do RS foram obtidos para os anos de 2018 a 2023. A maioria das emissões do setor foi considerada. A Tabela A.34 apresenta os dados consolidados.

Tabela A.34: Emissões de escopos 1 e 2 por categoria reportadas pelo setor de papel e celulose para os anos de 2018 a 2023

Escopo	Categorias	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Combustão Estacionária	659.031	695.588	682.668	653.941	612.102	508.159
1	Resíduos Sólidos	41.105	42.073	43.597	53.717	46.838	41.546
1	Emissões Fugitivas	857	577	789	1.035	1.277	938
1	Combustão Móvel	125	148	101	130	562	572
1	Efluentes	0	0	0	0	18.614	11.986
2	Compra de energia da rede	1.237	2.827	1.961	4.380	1.040	64
1	Combustão Estacionária - CO ₂ biogênico	3.323.640	3.116.755	3.306.191	3.462.772	3.430.562	3.027.502
1	Combustão Móvel - CO ₂ biogênico	30	36	25	28	62	64
Total (tCO₂e)		702.356	741.213	729.116	713.202	680.434	563.265
Total (tCO₂ biog.)		3.323.669	3.116.790	3.306.215	3.462.800	3.430.624	3.027.566

Fonte: Empresa C (dados coletados, 2025).

No setor, as emissões se concentram na combustão estacionária, principalmente em razão do uso de carvão vapor (média de 60% de 2018 a 2023), gás natural (média de 25,0% de 2018 a 2023), e óleo combustível (média de 10,9% de 2018 a 2023). Embora o uso de Licor Negro proporcione uma alta emissão de CO₂, este CO₂ é considerado biogênico, em razão do combustível ser proveniente das florestas plantadas. As emissões de resíduos estão associadas, principalmente, à compostagem do lodo da estação de tratamento de efluentes e das cascas de eucalipto. Entre 2018 e 2021, o setor não reportou as emissões associadas ao tratamento de efluentes.

Em razão da geração de energia renovável para autoconsumo e do despacho do excedente para o Sistema Interligado Nacional (SIN), o setor deixou de adquirir energia elétrica do SIN e, por isso, evitou emissões de GEE. Apresenta-se na Tabela A.35 as emissões evitadas:

Tabela A.35: Emissões Evitadas por Autogeração de Energia Renovável (tCO₂e)

Ano	Fonte	Emissões (tCO ₂ e)
2018	Emissão evitada pela geração de eletricidade	133.584
2019	Emissão evitada pela geração de eletricidade	126.267
2020	Emissão evitada pela geração de eletricidade	115.937
2021	Emissão evitada pela geração de eletricidade	118.853
2022	Emissão evitada pela geração de eletricidade	450.401
2023	Emissão evitada pela geração de eletricidade	371.671

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.2.4. Transporte do papel e celulose

As emissões que ocorrem no estado do RS associadas ao transporte do papel e celulose para os clientes e para o porto foram estimadas a partir de dados primários obtidos, incluindo dados de quilometragem e cidade de destino.

Os resultados das emissões de transporte estão divididos em quatro categorias: (I) transporte de cabotagem da indústria até o porto; (II) transporte rodoviário para clientes do RS e (III) transporte rodoviário para clientes de outros estados brasileiros; (IV) transporte rodoviário para clientes da América do Sul.

Para a terceira e quarta categorias, transporte para outros estados do Brasil e cidades da América do Sul, um ajuste na quilometragem informada foi realizado, considerando apenas a quilometragem percorrida até a fronteira do RS a partir da rota de saída do estado para determinada cidade.

As emissões por categoria são apresentadas na tabela A.36 (tCO₂e) e tabela A.37 (tCO₂ biog.).

Tabela A.36: Emissões de transporte do papel e celulose produzidos pelo setor (tCO₂e)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Transporte de cabotagem - Fábrica x porto Rio Grande	6.053	6.219	6.548	6.206	6.754	6.036
Transporte rodoviário - Rio Grande do Sul				1.163	1.155	2.044
Transporte rodoviário - Outros estados brasileiros	3.807	3.312	7.401	4.138	3.224	4.254
Transporte rodoviário - países América do Sul			2.440	3.444	2.106	292
Emissões totais (tCO₂e)	9.860	9.530	16.388	14.952	13.238	12.627

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela A.37: Emissões de transporte do papel e celulose produzidos pelo setor (tCO₂ biog.)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Transporte rodoviário - Rio Grande do Sul				134	118	244
Transporte rodoviário - Outros estados brasileiros	374	350	869	516	329	508
Transporte rodoviário - países América do Sul			287	398	215	35
Emissões totais (tCO₂ biog.)	374	350	1.156	1.048	662	787

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.2.5. Lenha para carvoejamento

Da lenha produzida entre os anos de 2018 e 2023, entre 8% e 12% foi destinada ao processo de transformação da lenha em carvão vegetal, também denominado de carvoejamento. A quantidade de carvão produzido, por ano, foi obtida a partir do Balanço Energético do Rio Grande do Sul, conforme Tabela A.38.

Tabela A.38: Carvão vegetal produzido, por ano

Ano	Carvão vegetal produzido (t)
2018	70.522
2019	71.038
2020	71.243
2021	79.533
2022	82.694
2023	77.317

Fonte: Rio Grande do Sul (2023a).

Para o cálculo de emissões deste processo, utilizou-se os dados do IPCC (2019c), cujos fatores de emissão publicados são apresentados na Tabela A.39

Tabela A.39: Fatores de emissão para o carvoejamento

Fator de emissão	Unidade	CO ₂ - Biomassa (kg/un.)	CH ₄ (kg/un.)	N ₂ O (kg/un.)
Produção de carvão	kg GHG / kg carvão	1,57	0,0403	0,0001

Fonte: Adaptado de IPCC (2019c).

A partir destes dados, as estimativas de emissões anuais decorrentes do carvoejamento são descritas na Tabela A.40. Vale ressaltar que as emissões de CO₂ não estão sendo contabilizadas, por se tratar de emissões biogênicas.

Tabela A.40: Emissões do processo de carvoejamento

Ano	tCH ₄	tN ₂ O	Emissões Totais (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	2.842,04	5,64	81.072,09	110.719,54
2019	2.862,83	5,68	81.665,28	111.529,66
2020	2.871,09	5,70	81.900,95	111.851,51
2021	3.205,18	6,36	91.431,14	124.866,81
2022	3.332,57	6,62	95.065,02	129.829,58
2023	3.115,88	6,19	88.883,62	121.387,69

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.2.6. Lenha e carvão vegetal como insumo energético

Para calcular as emissões do uso da lenha e carvão vegetal como insumo energético, foram utilizados dados de consumo reportados pela Balanço Energético do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2023a). As emissões foram calculadas com base nos fatores de emissão disponibilizados pelo Programa Brasileiro GHG Protocol (FGV, 2025). Os dados referentes à lenha, originalmente publicados em metros cúbicos (m³), foram convertidos para toneladas utilizando a densidade de 0,39 t/m³, conforme indicado no Balanço Energético Nacional, apresentado na Tabela A.41.

Tabela A.41: Consumo de lenha (t) e carvão vegetal (t) como insumo energético

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Lenha						
Centrais Elet. Autoprodutoras	258.567	367.528	365.484	400.433	396.464	431.825
Residencial	744.705	775.710	786.953	804.413	825.435	745.290
Comercial	21.950	20.337	19.636	18.860	19.176	20.174
Agropecuário	1.906.036	1.843.708	1.704.449	1.735.832	1.544.552	1.526.606
Industrial - Total	1.951.514	1.479.100	1.451.951	1.111.931	1.341.761	1.682.921
Química	237.447	178.821	173.135	133.978	162.228	203.510
Alimentos E Bebidas	662.692	501.945	489.679	374.274	453.089	569.457
Têxtil	3.880	2.998	2.643	2.086	2.566	3.248
Papel e Celulose	164.523	132.221	138.664	103.085	120.345	149.084
Cerâmica	611.640	462.867	451.071	346.675	418.867	525.860
Outras Indústrias	271.332	200.248	196.759	151.834	184.666	231.762
Total	4.882.773	4.486.383	4.328.472	4.071.470	4.127.389	4.406.817
Carvão vegetal						
Residencial	53.784	55.224	55.948	56.982	57.852	52.776
Industrial - Outras Indústrias	16.738	15.814	15.295	22.551	24.842	24.541
Total	70.522	71.038	71.243	79.533	82.694	77.317

Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul (2025).

As Tabelas A.42 e A.43 apresentam os resultados das estimativas, por setor e por tipo de GEE, de emissões decorrentes da queima da lenha e carvão vegetal no RS entre os anos de 2018 e 2023.

Tabela A.42: Emissões associadas à queima de lenha e carvão vegetal no RS, por setor (tCO₂e)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Consumo de Lenha						
Centrais Elet. Autoprodutoras	6.376	9.063	9.013	9.875	9.777	10.649
Residencial	91.436	95.243	96.624	98.768	101.349	91.508
Comercial	2.695	2.497	2.411	2.316	2.354	2.477
Agropecuário	234.027	226.374	209.276	213.129	189.643	187.440
Industrial - Total	48.125	36.475	35.805	27.420	33.088	41.501
Química	5.856	4.410	4.270	3.304	4.001	5.019
Alimentos E Bebidas	16.342	12.378	12.076	9.230	11.173	14.043
Têxtil	96	74	65	51	63	80
Papel e Celulose	4.057	3.261	3.419	2.542	2.968	3.676
Cerâmica	15.083	11.414	11.124	8.549	10.329	12.968
Outras Indústrias	6.691	4.938	4.852	3.744	4.554	5.715
Total	382.660	369.653	353.129	351.508	336.212	333.575

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Consumo de Carvão vegetal						
Residencial	8.532	8.760	8.875	9.039	9.177	8.372
Industrial - Outras Indústrias	3.015	2.849	2.755	4.062	4.475	4.421
Total	11.547	11.609	11.630	13.101	13.652	12.792

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela A.43: Emissões totais associadas à queima de lenha e carvão vegetal no RS, por GEE e tCO₂e

Ano	tCH ₄	tN ₂ O	Emissões Totais (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	11.649	257	394.207	7.290.833
2019	11.382	236	381.262	6.716.964
2020	10.870	228	364.759	6.488.350
2021	10.984	215	364.609	6.139.236
2022	10.427	219	349.863	6.229.524
2023	10.166	233	346.368	6.619.595

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.3. ARROZ

A.3.1. Cultivo do Arroz

A.3.1.1. Emissões diretas de CH₄

Na estimativa de emissões diretas de CH₄ foram considerados os fatores de emissão do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (Brasil, 2020b), o qual se baseia em fatores de emissão de metano específicos para o Rio Grande do Sul (Bayer et al., 2015) nos cultivos mínimo (2,8 kg CH₄/ha/dia) e convencional (3,6 kg CH₄/ha/dia).

Ressalta-se que os fatores de emissão específicos para os sistemas de cultivo convencional e mínimo (preparo antecipado) adotados no Rio Grande do Sul já incorporam os fatores de escala relacionados às condições locais de manejo. Esses fatores consideram:

- o regime hídrico durante o cultivo (SF_w, irrigação por inundação contínua)
- o manejo do solo no período de entressafra (SF_p)
- o aporte de material orgânico ao solo (SF_o)

O quarto Inventário Nacional (Brasil, 2020b) destaca que esses coeficientes foram obtidos por meio de experimentações conduzidas sob condições compatíveis com a realidade regional, com manutenção dos resíduos vegetais no solo, incluindo a resteva da cultura do arroz e a cobertura de solo por vegetação espontânea ou forrageiras de outono/inverno no período anterior ao novo cultivo.

O período de cultivo adotado para fins de estimativa das emissões foi de 100 dias para o sistema convencional e de cultivo mínimo e de 130 dias para o sistema pré-germinado e de plantio direto (Brasil, 2020b).

Os dados de área plantada e produtividade se basearam em dados públicos do IBGE (2024b), os quais foram encaminhados pela FARSUL - Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul. Já os dados de porcentagem por área e sistemas de cultivo considerou os dados do Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA (2025a). Esses dados foram utilizados como referência para o cálculo de emissões de várias etapas da cadeia produtiva do arroz.

A consolidação regional foi realizada com base na classificação dos municípios conforme as regiões produtoras definidas pelo IRGA (2024). Para os municípios que não constavam nos registros do IRGA, a localização geográfica foi determinada por meio de consulta ao Google Maps (Google, 2025), sendo posteriormente alocados à respectiva região produtora, com base no mapa oficial das regiões produtoras do IRGA (2022).

Nos casos em que o município não se enquadrava em nenhuma das regiões delimitadas, foi classificado como "Fora da Região Produtora", a fim de manter a consistência e rastreabilidade dos dados. As Tabelas de A.44 a A.51 apresentam as áreas plantadas de arroz irrigado e suas participações dos sistemas de cultivo.

Tabela A.44: Área plantada de arroz irrigado no Rio Grande do Sul (ha)

Região	Variável - Área plantada (ha)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)
Fronteira Oeste	315.118	296.465	293.357	279.774	284.069	251.101
Campanha	162.287	141.135	139.387	127.262	133.651	123.456
Central	142.395	135.639	130.663	133.061	130.179	114.046
Planície Costeira Interna	143.238	140.361	133.654	138.275	140.103	122.766
Planície Costeira Externa	132.226	113.507	104.143	107.991	111.089	96.265
Zona Sul	172.816	155.554	150.014	163.070	161.843	137.583
Fora da Região Produtora	231	225	179	178	235	206
Total	1.068.311	982.886	951.397	949.611	961.169	845.423

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2024b), IRGA (2022), IRGA (2024), Google (2025).

Tabela A.45: Produtividades das áreas (rendimento médio da produção) (kg/ha)

Região	Variável - Rendimento médio da produção (kg/ha)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)	Arroz (em casca)
Fronteira Oeste	8.284	7.324	8.422	9.170	7.819	8.688
Campanha	6.590	7.154	7.960	8.303	8.019	8.472
Central	5.657	6.773	7.474	7.637	6.918	7.351
Planície Costeira Interna	5.837	6.782	6.885	7.592	7.414	7.523
Planície Costeira Externa	6.635	6.586	6.644	7.240	7.350	7.854
Zona Sul	5.641	8.148	8.769	9.176	8.949	9.315
Fora da Região Produtora	6.152	2.413	2.348	2.386	2.139	2.255

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2024b), IRGA (2022), IRGA (2024), Google (2025).

Tabela A.46: Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2017/18

Região	Sistema de semeadura (%) – Safra 2017/18			
	Cultivo Mínimo	Convencional (Linha + Lanço)	Plantio Direto	Pré-Germinado
Fronteira Oeste	74,5	25,2	0,1	0,2
Campanha	85,9	12,2	1,4	0,5
Central	46,4	24,9	6,5	22,2
Planície Costeira Interna	54,1	5,5	3,0	37,4
Planície Costeira Externa	70,9	14,4	0,4	14,3
Zona Sul	38,1	56,1	5,2	0,6
RS	61,7	23,1	2,8	12,5

Fonte: Elaboração própria com base em IRGA (2025a).

Tabela A.47: Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2018/19

Região	Sistema de semeadura (%) – Safra 2018/19			
	Cultivo Mínimo	Convencional (Linha + Lanço)	Plantio Direto	Pré-Germinado
Fronteira Oeste	68,2	29,8	1,9	0,1
Campanha	86,1	8,4	4,5	1,0
Central	47,2	22,1	6,3	24,4
Planície Costeira Interna	55,4	8,6	0,9	35,1
Planície Costeira Externa	72,3	15,9	0,4	11,4
Zona Sul	34,6	64,3	1,1	0,01
RS	60,6	24,9	2,5	12,0

Fonte: Elaboração própria com base em IRGA (2025a).

Tabela A.48: Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2019/20

Região	Sistema de semeadura (%) – Safra 2019/20			
	Semi-direto + Conv. Linha	Convencional (à Lanço)	Plantio Direto	Pré-Germinado
Fronteira Oeste	98,6	0,0	1,2	0,2
Campanha	81,8	0,1	17,5	0,7
Central	76,0	0,4	8,1	15,5
Planície Costeira Interna	63,9	0,2	0,8	35,1
Planície Costeira Externa	83,0	0,6	2,2	14,3
Zona Sul	94,4	0,1	5,5	0,0
RS	88,8	0,2	5,3	8,8

Fonte: Elaboração própria com base em IRGA (2025a).

Tabela A.49: Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2020/21

Região	Sistema de semeadura (%) – Safra 2020/21			
	Cultivo Mínimo (%)	Convencional (%)	Plantio Direto (%)	Pré-germinado (%)
Fronteira Oeste	79,3	17,2	3,3	0,2
Campanha	74,8	6,9	17,2	1,0
Central	48,5	15,5	14,3	21,8
Planície Costeira Interna	48,7	9,7	2,0	39,6
Planície Costeira Externa	57,4	10,7	12,5	19,4
Zona Sul	45,0	36,3	18,7	0,0
RS	61,6	17,0	10,2	11,2

Fonte: Elaboração própria com base em IRGA (2025a).

Tabela A.50: Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2021/22

Região	Sistema de semeadura (%) – Safra 2021/22			
	Cultivo Mínimo (%)	Convencional (%)	Plantio Direto (%)	Pré-germinado (%)
Fronteira Oeste	63,9	31,3	4,6	0,0
Campanha	71,7	9,2	18,4	0,0
Central	58,5	14,6	3,7	23,3
Planície Costeira Interna	49,0	9,2	4,9	36,9
Planície Costeira Externa	56,8	9,5	14,0	19,7
Zona Sul	47,3	34,4	18,1	0,2
RS	57,9	18,0	10,6	13,3

Fonte: Elaboração própria com base em IRGA (2025a).

Tabela A.51: Participação dos sistemas de cultivo (%) – Safra 2022/23

Região	Sistema de semeadura (%) – Safra 2022/23			
	Cultivo Mínimo (%)	Convencional (%)	Plantio Direto (%)	Pré-germinado (%)
Fronteira Oeste	34,0	60,1	5,8	0,0
Campanha	69,8	18,5	11,5	0,0
Central	54,7	17,0	3,3	25,1
Planície Costeira Interna	50,9	3,8	2,8	42,5
Planície Costeira Externa	60,9	9,0	13,7	16,4
Zona Sul	47,7	27,1	25,2	0,0
RS	49,7	28,9	9,9	11,5

Fonte: Elaboração própria com base em IRGA (2025a).

As emissões foram calculadas com base na metodologia empregada pelo SEEG (2024c), associados à proposta metodológica do 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020b) e do IPCC (2006c).

As emissões de GEE para essa fonte são calculadas segundo a equação a seguir:

$$E_{\text{tCO}_2\text{e},y} = EF \times T \times A \times PAG \times 10^{-3}$$

Onde:

$E_{\text{tCO}_2\text{e},y}$ – Emissões pelo cultivo de arroz no ano y, em tCO₂e;

y – Ano de referência do período analisado;

EF – Fator de emissão diário (kg CH₄/ha/dia);

T – Período de cultivo do arroz (dia);

A – Área de arroz colhida (ha/ano);

PAG – Potencial de Aquecimento Global do gás fugitivo (kgCO₂e/kgGEE);

10⁻³ – Fator de conversão de kg para toneladas;

Como mencionado anteriormente, os fatores de emissão dos sistemas convencional e mínimo já incorporam os fatores de escala (SF_w , SF_p e SF_o). No entanto, para os demais cultivos foi necessária a realização do cálculo desses fatores.

O fator de emissão diário (EF), utilizado no cálculo das emissões diretas de CH₄, decorrentes do cultivo de arroz pré-germinado e plantio direto, foi obtido através da equação a seguir:

$$EF_i = EF_d \times SF_w \times SF_p \times SF_o$$

Em que:

EF_i – Fator de emissão diário incorporado aos fatores de escala (kg CH₄/ha/dia);

EF_d – Fator de emissão diário da linha de base, sem aporte de matéria-orgânica (kg CH₄/ha/dia);

SF_w – Fator de escala de regime hídrico antes do cultivo;

SF_p – Fator de escala de regime hídrico na entressafra;

SF_o – Fator de escala para tipo e quantidade de matéria-orgânica no solo;

O fator de emissão diário de CH₄ da linha de base para áreas de cultivo de arroz irrigado por inundação contínua (EF_d), na ausência de adição de material orgânico ao solo, representa a taxa de emissão em condições de manejo consideradas padrão. Embora a abordagem metodológica mais adequada recomende a utilização de fatores de emissão obtidos por experimentações locais, a indisponibilidade de dados validados para a maior parte das regiões produtoras de arroz do Brasil exigiu a adoção do fator default previsto nas Diretrizes do IPCC (2006c), cujo valor é de **1,3 kg CH₄/ha/dia**.

O fator de escala de regime hídrico antes do cultivo (SF_w) e o do regime hídrico na entressafra (SF_p) foram considerados conforme dados utilizados no 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020b) (Tabela A.52).

Tabela A.52: Fatores de escala

Fator de escala	Valor (adimensional)
SF_w	1,0
SF_p	0,68

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2020b).

Para obtenção do fator de escala para tipo e quantidade de matéria-orgânica no solo (SF_0) foi aplicado a equação a seguir, seguindo a metodologia empregada pelo SEEG (2024c), associados à proposta metodológica do 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020b).

$$SF_0 = [1 + (ROA \times CFOA)]^{0,59}$$

Em que:

SF_0 – Fator de escala para tipo e quantidade de matéria-orgânica no solo;

ROA - Dose de material orgânico aplicado [ton/ha];

CFOA - Fator de conversão para aporte de material orgânico;

O fator de conversão para aporte de material orgânico adotado é de 1,0 (adimensional), conforme recomendado por Brasil (2020b). E a dose de material orgânico aplicado (ROA) é calculada pela equação a seguir:

$$ROA = P \times 0,8$$

Em que:

ROA - Dose de material orgânico aplicado (ton/ha);

P – Produtividade média do regime (ton/ha);

0,8 – Considerado 80% de produtividade do regime.

Na sequência são apresentados a quantidade de material orgânico aportado ao solo (ROA), o fator de escala que reflete o aporte de material orgânico ao solo (SF_0) e o fator de emissão diário incorporado aos fatores de escala (EFi), que foram estimados para os sistemas de cultivo pré-germinado e plantio direto, por região e ano (Tabela A.53, A.54, A.55).

Tabela A.53: **Aporte de material orgânico no solo (ROA), por região produtora e ano**

Região	ROA (ton/ha)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	6,63	5,86	6,74	7,34	6,25	6,95
Campanha	5,27	5,72	6,37	6,64	6,42	6,78
Central	4,53	5,42	5,98	6,11	5,53	5,88
Planície Costeira Interna	4,67	5,43	5,51	6,07	5,93	6,02
Planície Costeira Externa	5,31	5,27	5,32	5,79	5,88	6,28
Zona Sul	4,51	6,52	7,02	7,34	7,16	7,45
Fora da Região Produtora	4,92	1,93	1,88	1,91	1,71	1,80

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2020b).

Tabela A.54: **Fator de escala que reflete o aporte de material orgânico ao solo (SF_0), por região produtora e ano**

Região	SF_0 (adimensional)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	3,32	3,11	3,34	3,49	3,22	3,40
Campanha	2,95	3,08	3,25	3,32	3,26	3,35
Central	2,74	2,99	3,15	3,18	3,03	3,12
Planície Costeira Interna	2,78	3,00	3,02	3,17	3,13	3,16
Planície Costeira Externa	2,96	2,95	2,97	3,10	3,12	3,23
Zona Sul	2,74	3,29	3,41	3,50	3,45	3,52
Fora da Região Produtora	2,86	1,89	1,87	1,88	1,80	1,84

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2020b).

Tabela A.55: **Fator de emissão diário (EF) – Outros Sistemas (kg CH₄/ha/dia), por região produtora e ano**

Região	EF (kg CH ₄ /ha/dia)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	2,93	2,75	2,96	3,09	2,85	3,00
Campanha	2,61	2,72	2,87	2,93	2,88	2,97
Central	2,42	2,65	2,78	2,81	2,68	2,76
Planície Costeira Interna	2,46	2,65	2,67	2,80	2,77	2,79
Planície Costeira Externa	2,62	2,61	2,62	2,74	2,76	2,85
Zona Sul	2,42	2,91	3,02	3,09	3,05	3,11
Fora da Região Produtora	2,52	1,67	1,65	1,66	1,59	1,62

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2020b).

A.3.1.2. Combustão móvel

As emissões decorrentes do consumo de combustível durante o cultivo do arroz foram estimadas considerando o consumo médio de **146,13 litros/ha** (dado fornecido pela FARSUL, baseados em dados do Painel Campo Futuro / CNA / CEPEA-ESALQ, safra 2023/24). Não foi possível determinar o tipo de combustão (móvel ou estacionária), adotando-se então a premissa do cálculo por combustão móvel.

As emissões de GEE para essa fonte são calculadas segundo a equação a seguir:

$$E_{tCO_2ey} = C_i \times EF_{i,GEE} \times PAG \times 10^{-3}$$

Em que:

- E_{tCO_2ey} – Emissões no ano y, em tCO₂e;
- y – Ano de referência do período analisado;
- C_i – Consumo de combustível (litros);
- $EF_{i,GEE}$ – Fator de emissão para o combustível tipo i, por tipo de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O kg/un.).
- PAG – Potencial de Aquecimento Global do gás fugitivo em kgCO₂e/kgGEE;
- 10⁻³ – Fator de conversão de kg para toneladas;

No cálculo das emissões provenientes do consumo de óleo diesel em fontes de combustão móvel, foram considerados os percentuais de biodiesel no diesel vigentes em cada ano, conforme Tabela A.56:

Tabela A.56: Média anual do percentual de biodiesel no diesel

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
% Biodiesel no Diesel	9,67%	10,33%	11,33%	11,17%	10%	11,50%

Fonte: Elaboração própria com base em GHG Protocol (FGV, 2025).

Os seguintes combustíveis e fatores de emissão foram utilizados para calcular as emissões de GEE a partir de fontes de combustão móvel (Tabela A.57).

Tabela A.57: Fatores de emissão – Combustão Móvel

Combustível	Unidade	Fatores de Emissão (kgGEE/un.)			
		CO ₂ biogênico	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Óleo Diesel	Litros	-	2,603	0,0001	0,00014
Biodiesel	Litros	2,431	-	0,0003	0,00002

Fonte: Elaboração própria com base em GHG Protocol (FGV, 2025).

A.3.1.3. Consumo de Energia Elétrica na Irrigação

O cálculo de emissões de GEE provenientes do consumo de eletricidade na irrigação foi realizado a partir de dados do IRGA (2023). Para o cálculo das emissões foram considerados os fatores de emissão mensal do Sistema Interligado Nacional - SIN. Os dados de área plantada se basearam em dados públicos do IBGE (2024b), os quais foram encaminhados pela FARSUL - Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul e apresentados na tabela A.44. Já a porcentagem por área e sistemas de cultivo considerou os dados do Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA (2025a), apresentados nas tabelas A.46 a A.51, respectivamente.

O tipo de GEE considerado na geração de energia do SIN é o CO₂ e as emissões são calculadas segundo equação a seguir:

$$E_{CO_2y} = C_y \times E_{FCO_2y}$$

Em que:

- y – Ano de referência do relatório;
- E_{CO_2y} – Emissões de CO₂ atribuíveis ao consumo de eletricidade do SIN no ano y, em tCO₂e;
- C_y – Consumo de eletricidade proveniente da rede nacional no ano y, em MWh;
- EF_{CO_2y} – Fator de emissão de CO₂ aplicável à eletricidade da rede nacional no ano y, em tCO₂e/MWh;

Na Tabela A.58 são apresentados os fatores de emissão utilizados para cálculo das emissões.

Tabela A.58: Fatores de Emissão do Sistema Interligado Nacional – Fator anual

Ano	FE anual (tCO ₂ /MWh)
2018	0,0355
2019	0,0667
2020	0,0530
2021	0,0514
2022	0,0482
2023	0,0426

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2025c).

Na Tabela A.59 são apresentados os parâmetros de cálculo utilizados para a estimativa de consumo de energia na irrigação durante o plantio de arroz.

Tabela A.59: Parâmetros utilizados para a estimativa de consumo de energia elétrica na irrigação

Dados	Parâmetros
Dias de Irrigação	100 dias
Horas de operação/ dia	20 hs
Área de lavoura irrigada por conjunto elétrico	100 ha
Consumo de energia por conjunto elétrico	36,8 kWh
Horas ha/ano	20 hs
Consumo de Energia (kWh/ha ano)	736,00 kWh
Percentual de área com irrigação mecânica elétrica	75%

Fonte: Elaboração própria com base em IRGA (2023).

A.3.2. Solos Manejados

A.3.2.1. Aplicação da Ureia

A aplicação de ureia no solo está associada à liberação de CO₂, decorrente do processo de hidrólise catalisado pela enzima urease, naturalmente presente no solo. Nessa reação, a ureia é convertida em amônia (NH₃) e CO₂ que é liberado para a atmosfera (IPCC, 2006b).

Para estimar as emissões da ureia foi considerado **média de 320 kg/ha** (dado fornecido pela FARSUL, baseados em dados do Painel Campo Futuro / CNA / CEPEA-ESALQ, safra 2023/24). Os dados de área plantada se basearam em dados públicos do IBGE (2024b), os quais foram encaminhados pela FARSUL - Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul e apresentados na tabela A.44.

As emissões diretas de CO₂ por aplicação de ureia no solo foram calculadas com base na metodologia empregada no 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020c), fundamentados nas orientações metodológicas do IPCC (2006b), que recomenda a aplicação do fator de emissão global de 0,20, que corresponde ao teor de carbono (%) da ureia (CO(NH₂)).

As emissões de GEE para essa fonte são calculadas segundo a equação a seguir:

$$E_{tCO_2e,y} = C_{u,y} \times EF \times F_c$$

Em que:

$E_{tCO_2e,y}$ – Emissões de CO₂ atribuíveis ao consumo ureia no ano y, em tCO₂e;

$C_{u,y}$ – Consumo de ureia no ano y;

EF – Fator de emissão da ureia;

F_c – Conversão de CO₂-C em CO₂ (44/12);

y – Ano de referência do período analisado;

A.3.2.2. Aplicação de fertilizante nitrogenado (emissões diretas)

O aumento do nitrogênio disponível no solo provocado pela adição de fertilizantes nitrogenados, estimula os processos microbianos de nitrificação e desnitrificação. Esses processos são os principais responsáveis pela emissão de óxido nitroso (N₂O). Segundo as diretrizes do IPCC (2006b), as seguintes fontes de nitrogênio proporcionam emissões diretas de N₂O em solos agrícolas:

- Fertilizantes sintéticos nitrogenados (F_{SN});
- Adubos orgânicos para fertilização (F_{ON});
- Deposição de urina e fezes por animais em pastejo (F_{PRP});
- Resíduos de culturas (F_{CR});
- Mineralização do nitrogênio do solo associada à perda de matéria orgânica devido a mudanças de uso ou manejo (F_{SOM});
- Área de solos orgânicos que passou por drenagem/manejo (F_{OS}).

Para o cálculo das emissões desta fonte da cadeia do arroz foram consideradas apenas as emissões por fertilizantes sintéticos nitrogenados e resíduos de cultura. Seguindo a metodologia adotada pelo 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020c) e pelo SEEG (2024c), as emissões provenientes de fontes orgânicas aplicadas no cultivo de arroz irrigado por inundação (F_{ON}) não foram consideradas devido à ausência de informações sistematizadas

sobre os tipos e as quantidades para essa cultura. O mesmo ocorreu para áreas de solos orgânicos (F_{OS}) e mineralização do nitrogênio no solo (F_{SOM}).

Para a estimativa das emissões diretas dessas duas fontes a variável chave é a área de organossolo cultivado por ano, e o 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020c) esclarece que não foi possível ser identificada nos mapas de uso do solo a área ocupada pelo cultivo de arroz inundado. Esse dado também não foi conseguido com instituições localizadas no estado do Rio Grande do Sul.

Para a estimativa das emissões por fertilizante sintético nitrogenado foi considerado uma aplicação média **280 kg/ha de fertilizante sintético** (NPK 05-20-30) e **320 kg/ha de ureia** (dado fornecido pela FARSUL, baseados em dados do Painel Campo Futuro / CNA / CEPEA-ESALQ, safra 2023/24). Para a ureia foi considerada uma concentração de 45% de nitrogênio, ureia mais utilizada na agricultura brasileira (Kappes; Zancanaro; Jesus, 2013). Os dados de área plantada se basearam em dados públicos do IBGE (2024b), os quais foram encaminhados pela FARSUL - Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul e são apresentados na tabela A.44.

As emissões diretas de CO₂ por aplicação de fertilizante sintético nitrogenado no solo foram calculadas com base na metodologia empregada no 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020c), fundamentados nas orientações metodológicas do IPCC (2006b), que recomenda a aplicação do fator de **0,003 kg N₂O-N para arroz inundado**.

As emissões de GEE para essa fonte são calculadas segundo a equação a seguir:

$$E_{tCO_2e,y} = F_{SN} \times EF_{FR} \times F_c \times PAG \times 10^{-3}$$

Em que:

$E_{tCO_2e,y}$ – Emissões de N₂O atribuíveis por fertilizante sintético aplicado ao solo no ano y, em tCO₂e;

y – Ano de referência do período analisado;

F_{SN} – Quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados ao solo (kg de N);

EF_{FR} – Fator de emissão direta de N₂O por fertilizantes sintéticos para arroz inundado (kg N₂O-N/ kg N aplicado);

F_c – Fator de conversão de N em N₂O (44/28);

PAG – Potencial de Aquecimento Global do gás fugitivo, em kgCO₂e/kgGEE;

10⁻³ – Fator de conversão de kg para toneladas;

A.3.2.3. Aplicação de fertilizante nitrogenado (emissões indiretas)

A cultura de arroz irrigado não apresenta emissões indiretas provenientes da deposição atmosférica de nitrogênio volatilizado. Isso ocorre porque, devido ao seu cultivo em ambiente alagado, não há deposição atmosférica (SEEG, 2024c).

As emissões indiretas de nitrogênio por lixiviação estão relacionadas ao balanço hídrico entre precipitação/irrigação e evapotranspiração ao longo do período chuvoso (Brasil, 2020c). Considerando a ausência desses dados específicos para áreas de arroz irrigado, optou-se por estimar essas emissões para toda a área cultivada. Assim, os valores obtidos podem estar superestimados.

As emissões indiretas pela aplicação de fertilizante sintético nitrogenado no solo foram calculadas com base na metodologia empregada no 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020c), fundamentado nas orientações metodológicas do IPCC (2006b). A principal diferença entre o cálculo das emissões diretas e indiretas de óxido nitroso (N₂O) está na aplicação do fator de lixiviação e na substituição do fator de emissão direta por um fator de emissão indireta.

De acordo com as diretrizes do IPCC (2006b), assume-se que 30% do nitrogênio perdido por lixiviação e escoamento é passível de contribuir para emissões indiretas de N₂O, com um fator de emissão padrão de **0,0075 kg N₂O-N por kg de N lixiviado**.

As emissões de GEE para essa fonte são calculadas segundo a equação a seguir:

$$E_{tCO_2e,y} = F_{SN} \times Frac_{leach-(h)} \times EF \times F_c \times PAG \times 10^{-3}$$

Em que:

$E_{tCO_2e,y}$ – Emissões de N₂O atribuíveis por fertilizante sintético aplicado ao solo no ano y, em tCO₂e;

y – Ano de referência do período analisado;

F_{SN} – Quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicado ao solo (kg de N);

$Frac_{leach-(h)}$ – Fator de lixiviação;

EF – Fator de emissão indireta de N₂O por fertilizantes sintéticos (kg N₂O-N/ kg N aplicado);

F_c – Fator de conversão de N₂O-N em N₂O (44/28);

PAG – Potencial de Aquecimento Global do gás fugitivo em kgCO₂e/kgGEE;

10⁻³ – Fator de conversão de kg para toneladas;

A.3.2.4. Resíduos Agrícolas (emissões diretas)

Quando restos de culturas são deixados no campo após a colheita, esses materiais contêm nitrogênio orgânico. Durante a decomposição no solo, esse nitrogênio pode ser mineralizado e incorporado ao ciclo do nitrogênio, contribuindo para a emissão de N₂O via nitrificação e desnitrificação microbiana (IPCC, 2006b).

Os dados de produção e área colhida utilizados no cálculo, consolidados por região, se basearam em dados públicos do IBGE (2024b), os quais foram encaminhados pela FARSUL - Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul e são apresentados a seguir.

A consolidação regional foi realizada com base na classificação dos municípios conforme as regiões produtoras definidas pelo IRGA (2024). Para os municípios que não constavam nos registros do IRGA, a localização geográfica foi determinada por meio de consulta ao Google Maps (Google, 2025), sendo posteriormente alocados à respectiva região produtora, com base no mapa oficial das regiões produtoras do IRGA (2022).

Nos casos em que o município não se enquadrava em nenhuma das regiões delimitadas, foi classificado como "Fora da Região Produtora", a fim de manter a consistência e rastreabilidade dos dados (Tabela A.60 e A.61).

Tabela A.60: **Área colhida de arroz inundado no Rio Grande do Sul (ha)**

Variável - Área colhida (ha)						
Região	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	315.006	284.635	293.357	279.774	260.353	235.758
Campanha	162.137	140.478	139.387	127.262	133.630	123.286
Central	142.395	132.177	129.862	133.061	128.902	113.186
Planície Costeira Interna	142.969	140.361	133.251	138.275	140.103	122.766
Planície Costeira Externa	132.027	113.507	103.563	107.991	110.539	96.265
Zona Sul	172.816	155.554	150.014	163.070	161.843	137.579
Fora da Região Produtora	231	225	179	178	197	205
Total	1.067.581	966.937	949.613	949.611	935.567	829.045

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2024b).

Tabela A.61: **Quantidade de arroz produzido no Rio Grande do Sul (toneladas)**

Variável - Quantidade de arroz produzido (toneladas)						
Região	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	2.736.142	2.180.447	2.500.762	2.660.253	2.213.021	2.066.849
Campanha	1.282.469	1.015.024	1.163.574	1.088.603	1.116.438	1.098.102
Central	1.092.905	927.280	986.422	1.079.614	931.215	890.661
Planície Costeira Interna	996.481	1.001.975	1.036.001	1.170.884	1.133.751	1.010.683
Planície Costeira Externa	867.157	771.704	737.078	815.176	843.692	755.278
Zona Sul	1.425.916	1.274.934	1.329.326	1.480.703	1.432.376	1.320.711
Fora da Região Produtora	717	737	500	607	585	517
Total	8.401.787	7.172.101	7.753.663	8.295.840	7.671.078	7.142.801

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2024b).

As emissões foram calculadas com base na metodologia empregada pelo SEEG (2024c), associados à proposta metodológica do 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020c) e do IPCC (2006b). O cálculo das emissões foi dividido em quatro etapas, devido à necessidade de obtenção de diversas variáveis que compõem a estimativa.

Etapa 1: Nesta etapa são obtidos os valores referentes ao rendimento fresco da cultura (Tabela A.62 e A.63), segundo as equações a seguir:

$$Colheita_{Fresca} = (P \times 1000) \div \text{Área}_{Colhida}$$

$$CROP = Colheita_{Fresca} \times DRY$$

Em que:

$Colheita_{Fresca}$ – Rendimento fresco colhido para a cultura [kg matéria fresca/ha]

P – Produção da cultura (toneladas);

$\text{Área}_{Colhida}$ – Área colhida (hectares);

CROP – Rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura (kg matéria seca/ha);

DRY – Fração de matéria seca da safra colhida (kg matéria seca/kg de peso fresco) (conforme tabela A.66);

Tabela A.62: **Rendimento fresco colhido da cultura do arroz inundado (CROP), por região e por ano**

Colheita _{Fresca} (rendimento fresco colhido para a cultura, em kg matéria fresca/ha)						
Região	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	8.686	7.661	8.525	9.509	8.500	8.767
Campanha	7.910	7.226	8.348	8.554	8.355	8.907
Central	7.675	7.015	7.596	8.114	7.224	7.869
Planície Costeira Interna	6.970	7.139	7.775	8.468	8.092	8.233
Planície Costeira Externa	6.568	6.799	7.117	7.549	7.633	7.846
Zona Sul	8.251	8.196	8.861	9.080	8.850	9.600
Fora da Região Produtora	3.104	3.276	2.793	3.410	2.970	2.522

Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela A.63: **Rendimento anual de matéria seca colhida (CROP), por região produtora e por ano**

CROP (rendimento anual de matéria seca colhida, em kg matéria seca/ha)						
Região	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	7.557	6.665	7.416	8.272	7.395	7.627
Campanha	6.882	6.286	7.263	7.442	7.269	7.749
Central	6.677	6.103	6.608	7.059	6.285	6.846
Planície Costeira Interna	6.064	6.211	6.764	7.367	7.040	7.162
Planície Costeira Externa	5.714	5.915	6.192	6.567	6.640	6.826
Zona Sul	7.178	7.131	7.709	7.900	7.700	8.352
Fora da Região Produtora	2.700	2.850	2.430	2.967	2.584	2.194

Fonte: Elaboração própria (2025).

Etapa 2: Nessa etapa, é obtida a produção de matéria seca da parte aérea (AG_{DM}) (Tabela A.64), segundo a equação a seguir:

$$AG_{DM} = CROP \times R_{AG}$$

Em que:

AG_{DM} – Produção de matéria seca da parte aérea (kg matéria seca/ha)

$CROP$ – Rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura (kg matéria seca/ha); (conforme tabela A.63);

R_{AG} – Razão de matéria seca de resíduos acima do solo ($AG_{dm(T)}$) para o rendimento colhido seco para a cultura ($CROP$), (kg matéria seca/kg matéria seca) (conforme tabela A.66);

Tabela A.64: **Quantidade de matéria seca da parte aérea (AG_{DM}), por região e por ano**

AG_{DM} (matéria seca da parte aérea, em kg matéria seca/ha)						
Região	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	7.482	6.599	7.343	8.191	7.322	7.552
Campanha	6.813	6.224	7.191	7.368	7.197	7.672
Central	6.611	6.043	6.543	6.989	6.223	6.778
Planície Costeira Interna	6.004	6.149	6.697	7.294	6.971	7.091
Planície Costeira Externa	5.658	5.856	6.131	6.502	6.575	6.758
Zona Sul	7.107	7.060	7.633	7.822	7.624	8.269
Fora da Região Produtora	2.674	2.822	2.406	2.937	2.558	2.172

Fonte: Elaboração própria (2025).

Etapa 3: Nessa etapa, é calculada a entrada de nitrogênio no solo por resíduos da cultura (Tabela A.65), segundo a equação a seguir:

$$F_{CR} = (\text{Área}_{Colhida} \times AG_{DM} \times N_{AG}) + (\text{Área}_{Colhida} \times (AG_{DM} \times CROP) \times R_{BG-BIO} \times N_{BG})$$

Em que:

F_{CR} – Quantidade de nitrogênio no solo por resíduo da cultura (kg N);

$\text{Área}_{Colhida}$ – Área colhida (hectares), conforme tabela A.60;

AG_{DM} – Produção de matéria seca da parte aérea (kg matéria seca/ha), conforme tabela A.64;

N_{AG} – Teor de N de resíduos acima do solo para a cultura (kg N/kg matéria seca), conforme tabela A.66;

$CROP$ – Rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura (kg matéria seca/ha), conforme tabela A.63;

R_{BG-BIO} – Proporção de resíduos secos abaixo do solo para o rendimento colhido para a cultura (kg matéria seca/kg matéria seca), conforme tabela A.66;

N_{BG} – Teor de N de resíduos abaixo do solo para a cultura do arroz inundado (kg N/kg matéria seca), conforme tabela A.66;

Tabela A.65: **Quantidade de nitrogênio no solo por resíduo da cultura do arroz inundado (F_{CR}), por região e por ano**

F_{CR} (quantidade de nitrogênio no solo por resíduos, em kg N)						
Região	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	30.778.452	24.527.522	28.130.697	29.924.788	24.893.942	23.249.675
Campanha	14.426.302	11.417.853	13.088.870	12.245.532	12.558.644	12.352.385
Central	12.293.925	10.430.834	11.096.113	12.144.416	10.475.098	10.018.912
Planície Costeira Interna	11.209.266	11.271.067	11.653.820	13.171.099	12.753.395	11.369.022
Planície Costeira Externa	9.754.519	8.680.783	8.291.280	9.169.793	9.490.565	8.496.009
Zona Sul	16.039.916	14.341.542	14.953.389	16.656.206	16.112.583	14.856.480
Fora da Região Produtora	8.065	8.290	5.624	6.828	6.581	5.816

Fonte: Elaboração própria (2025).

Etapa 4: Nessa etapa, é realizado o cálculo das emissões de N₂O, segundo a equação a seguir:

$$E_{tCO_2e,y} = F_{CR} \times EF \times F_c \times PAG \times 10^{-3}$$

Em que:

$E_{tCO_2e,y}$ – Emissões direta de N₂O atribuíveis por resíduos agrícolas no ano y, em tCO₂e;

y – Ano de referência do período analisado;

F_{CR} – Quantidade de nitrogênio no solo por resíduo da cultura (kg N) (conforme tabela A.65)

EF – Fator de emissão de N₂O (kg N₂O–N /kg N) (conforme tabela A.66);

F_c – Fator de conversão de N em N₂O (44/28);

PAG – Potencial de Aquecimento Global do gás fugitivo em kgCO₂e/kgGEE;

10⁻³ – Fator de conversão de kg para toneladas;

Tabela A.66: **Resumo dos parâmetros utilizados para calcular FCR de resíduos de cultura na cadeia do arroz**

Parâmetros	Valor	Unidade de Medida
R _{AG}	0,9901	Kg MS/kg MS
N _{AG}	0,0092	Kg N/kgMS
N _{BG}	0,0073	Kg N/kg MS
R _{BG-BIO}	0,263	Kg MS/kg MS
EF	0,01	kg N2O-N (kg N)
DRY	0,87	kg matéria seca/ kg de peso fresco

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2020c).

A.3.2.5. Resíduos Agrícolas (emissões indiretas)

Quando os resíduos das culturas são deixados no campo, o nitrogênio contido nesses materiais pode ser mineralizado, convertendo-se principalmente em nitrato. Esse nitrato pode ser lixiviado pelas águas da chuva ou da irrigação para camadas mais profundas do solo ou para corpos hídricos adjacentes, resultando em emissões indiretas de N₂O em locais distintos daquele onde o nitrogênio foi originalmente aplicado (IPCC, 2006b).

Os dados de produção e área colhida utilizados no cálculo se basearam em dados públicos do IBGE (2024b), os quais foram encaminhados pela FARSUL - Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul. Já a porcentagem por área e sistemas de cultivo considerou os dados do Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA (2025a).

As emissões foram calculadas com base na metodologia empregada pelo SEEG (2024c), associados à proposta metodológica do 4º Inventário Nacional (Brasil, 2020c) e do IPCC (2006b).

O cálculo das emissões foi dividido em quatro etapas, devido à necessidade de obtenção de diversas variáveis que compõem a estimativa. Nas emissões indiretas, as etapas 1, 2 e 3 são idênticas às utilizadas no cálculo das emissões diretas, que foram apresentadas no item A.3.2.4. A diferença da etapa 4 para o cálculo das emissões diretas, é a inclusão de um fator de lixiviação e a substituição do fator de emissão direta por um fator de emissão indireta.

Etapa 4: Nessa etapa são realizados os cálculos das emissões indiretas de N₂O, segundo a equação a seguir:

$$E_{tCO_2e,y} = F_{CR} \times Frac_{leach-(h)} \times EF_i \times F_c \times PAG \times 10^{-3}$$

Em que:

E_{tCO₂e,y} – Emissões indireta de N₂O atribuíveis por resíduos agrícolas no ano y, em tCO₂e;

y – Ano de referência do período analisado;

F_{CR} – Quantidade de nitrogênio no solo por resíduo da cultura (kg N), (Tabela A.67);

Frac_{leach-(h)} – Fator de lixiviação – quantidade de N lixiviado;

EF_i – Fator de emissão indireta de N₂O por resíduo agrícola (kg N₂O-N (kg N));

F_c – Fator de conversão de N₂O - N em N₂O (44/28);

PAG – Potencial de Aquecimento Global do gás fugitivo em kgCO₂e/kgGEE;

10⁻³ – Fator de conversão de kg para toneladas;

Tabela A.67: **Resumo dos parâmetros utilizados para calcular F_{CR} de resíduos de cultura na cadeia do arroz (emissões indiretas)**

Parâmetros	Valor	Unidade de Medida
R _{AG}	0,9901	Kg MS/kg MS
N _{AG}	0,0092	Kg N/kgMS
N _{BG}	0,0073	Kg N/kg MS
R _{BG-BIO}	0,263	Kg MS/kg MS
EF _i	0,0075	kg N2O-N (kg N)
Frac _{leach-(h)}	0,30	Percentual (%)
DRY	0,87	kg matéria seca/ kg de peso fresco

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2020b).

A.3.3. Mudança de Uso da Terra

Os dados previamente estimados pelo SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa) serviram de base para quantificar as emissões e remoções associadas à categoria de Mudança no Uso da Terra da cadeia do arroz, em alinhamento com a metodologia atualmente adotada para o Inventário de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio Grande do Sul.

Essa categoria inclui as emissões resultantes de alterações no uso da terra, mudanças no estoque de carbono orgânico do solo, remoções decorrentes da conversão do uso da terra e emissões provenientes de resíduos florestais.

O SEEG baseia suas estimativas na série temporal mais abrangente de mapas anuais de cobertura e uso da terra disponibilizada pelo MapBiomas (MapBiomas, 2025). Os métodos e fatores de emissão utilizados seguem as diretrizes estabelecidas no 4º Inventário (Brasil, 2020a), que, por sua vez, estão fundamentados nas orientações metodológicas do IPCC (2003; 2006d).

A Tabela A.68 apresenta o resultado das emissões/ remoções por tipo de mudança de uso da terra na cadeia do arroz

Tabela A.68: **Emissões/ remoções por tipo de mudança de uso da terra na cadeia do arroz**

Mudanças de Uso da Terra	Emissões em tCO ₂ e					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Alterações de uso da terra	426.641	516.359	509.109	166.644	107.697	254.298
Desmatamento	383.836	447.871	458.733	118.590	103.243	245.241
Campo alagado -- Arroz	3.066	9.208	7.083	2.068	276	3.440
Formação campestre -- Arroz	371.205	427.330	440.373	110.473	100.986	216.469
Formação florestal -- Arroz	6.868	6.775	9.725	4.025	1.620	20.745
Restinga arborizada -- Arroz	195	433	548	397	44	649
Restinga herbácea -- Arroz	2.502	4.125	1.004	1.627	317	3.938

Mudanças de Uso da Terra	Emissões em tCO ₂ e					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Outras mudanças de uso da terra	3.759	2.461	3.140	3.637	4.454	9.057
Arroz -- Área urbanizada	52	24	8	55	9	366
Arroz -- Mineração	-	-	-	-	3	-
Arroz -- Outras áreas não vegetadas	751	412	823	735	247	3.111
Arroz -- Pastagem	472	182	163	212	263	848
Arroz -- Praia, duna e areal	-	-	3	1	-	-
Floresta plantada -- Arroz	2.179	1.016	1.135	631	3.518	2.887
Pastagem -- Arroz	305	827	1.008	2.003	414	1.845
Regeneração	39.046	66.027	47.236	44.417	-	-
Arroz -- Campo alagado	1.359	899	1.886	5.554	-	-
Arroz -- Formação campestre	37.627	65.082	45.264	38.762	-	-
Arroz -- Formação florestal	25	29	55	65	-	-
Arroz -- Restinga arborizada	23	8	18	5	-	-
Arroz -- Restinga herbácea	12	9	13	31	-	-
Carbono orgânico no solo	112.748	125.499	142.114	33.581	32.032	62.213
Desmatamento	112.748	125.499	142.114	33.581	32.032	62.213
Campo alagado -- Arroz	842	994	1.443	700	134	909
Formação campestre -- Arroz	110.525	123.032	139.708	31.926	31.709	59.126
Formação florestal -- Arroz	329	383	464	181	2	846
Restinga arborizada -- Arroz	52	115	135	100	17	98
Restinga herbácea -- Arroz	1.000	975	363	674	119	1.234
Resíduos florestais	14.472	17.111	18.749	4.384	3.154	11.526
Desmatamento	14.472	17.111	18.749	4.384	3.154	11.526
Campo alagado -- Arroz	107	338	1.875	158	6	457
Formação campestre -- Arroz	13.493	15.736	15.674	3.876	2.994	8.665
Formação florestal -- Arroz	757	824	1.102	256	138	2.211
Restinga arborizada -- Arroz	27	61	63	38	6	35
Restinga herbácea -- Arroz	88	152	35	56	10	158
Remoção por mudança de uso da terra	-172	-242	-211	-778	-29	-138
Outras mudanças de uso da terra	-172	-242	-211	-778	-29	-138
Arroz -- Floresta plantada	-166	-238	-209	-768	-28	-138
Arroz -- Pastagem	-6	-4	-2	-10	-1	-
Total Geral	553.689	658.727	669.761	203.831	142.854	327.899

Fonte: SEEG (2024a).

A.3.4. Transporte do Arroz

A.3.4.1. Transporte rodoviário

As emissões que ocorrem no estado do Rio Grande do Sul associadas ao transporte rodoviário do arroz foram estimadas a partir de quilometragem percorrida e carga transportada.

Os resultados das emissões de transporte rodoviário foram divididos em quatro categorias: (I) transporte para o beneficiamento; (II) transporte de arroz importado para armazenamento/ beneficiamento, (III) transporte do arroz destinado ao mercado externo; e (IV) transporte do arroz destinado ao mercado interno.

Para a estimativa das emissões foram adotadas as seguintes premissas:

- I. **Transporte para o beneficiamento (Tabela A.69)** – transporte rodoviário saindo do campo até o ponto de beneficiamento, considerando uma quilometragem média de 50 km (dado fornecido pela FARSUL, baseados em dados do Painel Campo Futuro / CNA / CEPEA-ESALQ, safra 2023/24), e para a carga transportada considerou-se o total de arroz beneficiado ano a ano, obtido através de dados do IRGA (2025b).

Tabela A.69: **Quantidade de arroz beneficiado no RS (toneladas)**

Período	Quantidade de Arroz Beneficiado (toneladas)
2018	5.796.178
2019	7.427.686
2020	8.024.310
2021	5.532.631
2022	5.545.152
2023	5.722.235

Fonte: Elaboração própria com base em IRGA (2025b).

- II. **Transporte de arroz importado para armazenamento/ beneficiamento** – para o arroz importado da Argentina e Uruguai considerou-se o transporte rodoviário entrando pela divisa de ambos os países com o Rio Grande do Sul (RS). Para a definição dos pontos de entrada na fronteira do RS, foram sobrepostas as camadas de Mapa Rodoviário do Brasil disponíveis no Google Maps (Google, 2025), malha municipal do Rio Grande do Sul, com opacidade de 30% (IBGE, 2024c) e malha rodoviária federal do Brasil (DNIT, 2023). Em seguida, foram estabelecidos 4 pontos nas entradas federais do estado do RS com a Argentina e o Uruguai, considerando as entradas mais próximas aos pontos de destino. Tendo os pontos de entrada do estado, foi calculada a distância entre as maiores beneficiadoras do estado (Camil e Josapar) e cada um dos pontos de entrada do estado (origem), adotando como rota aquela de menor distância, utilizando a função de rotas do OSRM. Para o arroz importado de outros países, considerou-se a origem no porto de Rio Grande até um ponto de armazenamento/ beneficiamento, adotando a mesma premissa do transporte para o beneficiamento (quilometragem média de 50 km). A Figura A.1 ilustra as entradas federais do estado, partindo da Argentina e Uruguai.

Figura A.1: Entradas federais do RS, partindo da Argentina e Uruguai



Fonte: Elaboração própria, 2025.

O total de arroz importado pelo RS (Tabela A.70) foi obtido através de dados disponibilizados em canais do governo federal (Brasil, 2025d).

Tabela A.70: Quantidade de arroz importado no RS (toneladas)

País de Origem	Quantidade de Arroz Importado (toneladas)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Argentina	17.308	24.860	26.432	26.350	25.069	8.752
Chile	213	239	-	-	-	455
Costa Rica	-	4	-	-	-	-
Espanha	-	-	-	1	2	1
Estados Unidos	225	10	92.118	198	-	-
Guiana	-	-	-	3.432	-	-
Índia	22	-	7.925	3.276	-	-
Itália	367	121	147	202	248	52
Paquistão	3	26	47	47	23	49
Paraguai	1.027	4.899	49.328	20.539	52.167	50.185
Portugal	-	-	-	-	193	-
Rússia	-	24	-	-	-	-
Tailândia	-	-	-	6	-	-
Uruguai	38.215	54.332	105.253	68.386	111.576	193.017
Vietnã	-	-	-	-	-	567
Total Geral	57.379	84.515	281.250	122.437	189.279	253.079

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2025d).

III. Transporte do arroz destinado ao mercado externo – transporte rodoviário partindo do município de origem até o Porto de Rio Grande. A quilometragem percorrida foi estimada considerando a rota mais curta do Mapa Rodoviário do Brasil (Google, 2025). Para o arroz identificado como município de origem Rio Grande, adotou-se a mesma premissa do transporte para o beneficiamento (quilometragem média de 50 km). O total de arroz exportado, por município de origem, foi obtido do AgroStat (Brasil, 2025g), o qual foi encaminhado pela FARSUL - Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul, e consolidados por região, conforme apresentados a seguir. A consolidação regional foi realizada com base na classificação dos municípios conforme as regiões produtoras definidas pelo IRGA (2024). Para os municípios que não constavam nos registros do IRGA, a localização geográfica foi determinada por meio de consulta ao Google Maps (2025), sendo posteriormente alocados à respectiva região produtora, com base no mapa oficial das regiões produtoras do IRGA (2022).

Nos casos em que o município não se enquadrava em nenhuma das regiões delimitadas, foi classificado como “Fora da Região Produtora”, a fim de manter a consistência e rastreabilidade dos dados (Tabela A.71).

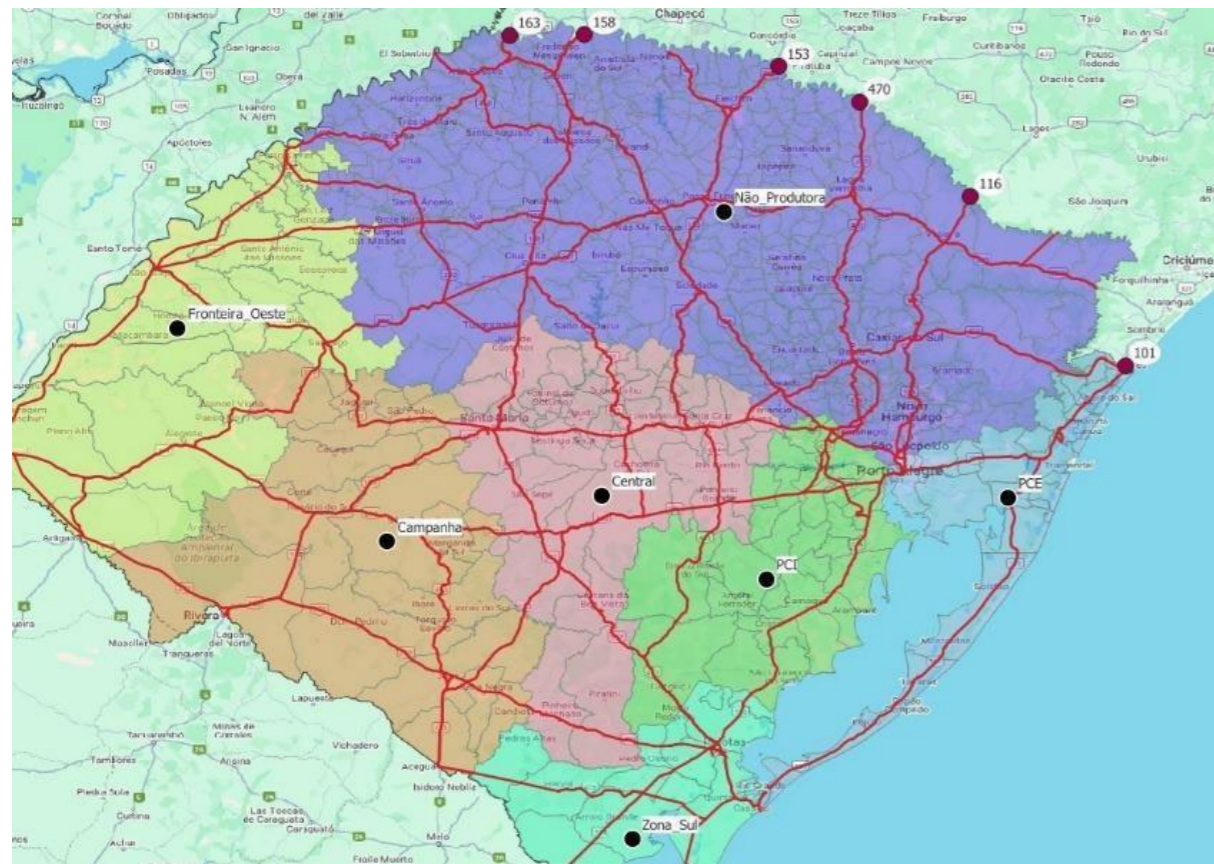
Tabela A.71: Quantidade de arroz exportado (toneladas)

Região	Quantidade de Arroz Exportado (toneladas)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fronteira Oeste	38.535	56.437	78.983	59.083	53.077	86.164
Campanha	7.119	16.504	16.993	6.867	5.471	3.687
Central	104.000	149.788	259.897	123.108	151.125	179.976
Planície Costeira Interna	31.577	66.690	98.684	26.141	33.421	21.094
Planície Costeira Externa	395.740	85.315	164.505	166.073	504.585	424.915
Zona Sul	573.366	537.268	520.551	369.099	702.437	475.432
Fora da Região Produtora	162.387	102.447	146.447	67.521	264.761	222.423
Total	1.312.725	1.014.449	1.286.060	817.893	1.714.876	1.413.691

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2025e).

IV. Transporte do arroz destinado ao mercado interno – considerou-se que o destino do arroz é fora do estado, no entanto para a estimativa das emissões considera-se somente as emissões de atividades que ocorrem dentro do estado, sendo definido pontos na fronteira do estado como novo destino. Para definição dos pontos de saída na fronteira do RS, foram sobrepostas as camadas de Mapa Rodoviário do Brasil (Google Maps, 2025), malha municipal do Rio Grande do Sul, com opacidade de 30% (IBGE, 2024c) e malha rodoviária federal do Brasil (DNIT, 2023). Em seguida, foram colocados pontos em cada uma das 6 saídas federais do estado do RS em 2023. Tendo os pontos de saída do estado, foi calculada a distância entre o ponto médio das regiões produtoras e cada um dos pontos de saída do estado (destinos), adotando como rota aquela de menor distância, utilizando a função de rotas do OSRM. A Figura A.2 ilustra os pontos médios das regiões produtoras e saídas federais do estado.

Figura A.2: Ponto médio das regiões produtoras e saídas federais do RS



Fonte: Elaboração própria, 2025.

A estimativa da carga transportada foi calculada com base no volume total de arroz disponível no território do RS, considerando a seguinte equação:

$$Carga\ transportada\ (t) = Produção\ estadual\ (t) + Importações\ (t) - Exportações\ (t)$$

E para definir o total de arroz transportado por região (saídas) adotou-se a proporção do total de arroz produzido por região ano a ano (IRGA, 2025a), apresentados nas tabelas A.46 a A.51. Os dados de produção e exportação foram obtidos do AgroStat (Brasil, 2025g), os quais foram encaminhados pela FARSUL - Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul (Brasil, 2025f), apresentados nas tabelas A.61 e A.71, respectivamente. E o total de arroz importado pelo RS foi obtido através de dados disponibilizados em canais do governo federal (Brasil, 2025d), apresentado na tabela A.70.

Essa abordagem permite estimar, de forma aproximada, o volume de arroz efetivamente movimentado no estado do RS, desconsiderando estoques e perdas, e fornece subsídios para avaliar as emissões associadas ao transporte na cadeia produtiva. No entanto, cabe destacar que as emissões podem estar superestimadas, por não considerar a informação do quantitativo de arroz estocado que não apresentou movimentação para comercialização e nem o que foi consumido dentro do estado.

As emissões foram calculadas com base na metodologia GHG Protocol (FGV, 2025), conforme a equação a seguir:

$$E_{tCO_2e,y} = C_i \times D_i \times EF_{i,GEE} \times PAG \times 10^{-3}$$

Em que:

- $E_{tCO_2e,y}$ – Emissões no ano y, em tCO₂e;
- y – Ano de referência do período analisado;
- C_i – Carga transportada (tonelada);
- D_i – Distância percorrida (km);
- $EF_{i,GEE}$ – Fator de emissão do transporte de carga no modal rodoviário, por tipo de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O kg/un.), (Tabela A.72)
- PAG – Potencial de Aquecimento Global do gás fugitivo em kgCO₂e/kgGEE;
- 10⁻³ – Fator de conversão de kg para toneladas;

Tabela A.72: Fatores de emissão utilizados para o cálculo das emissões por transporte rodoviário

Tipo de Veículo	Combustível	Unidade	Fatores de Emissão (kg/unidade)		
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Caminhão-Caminhão (média)	Óleo Diesel	Tonelada.km	0,10102	0,000005	0,000005
	Biodiesel	Tonelada.km	0,09435	0,000013	0,000001

Fonte: Elaboração própria com base em GHG Protocol (FGV, 2025).

No cálculo das emissões foram considerados os percentuais de biodiesel no diesel vigentes em cada ano, conforme Tabela A.73:

Tabela A.73: Média anual do percentual de biodiesel no diesel

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
% Biodiesel no Diesel	9,67%	10,33%	11,33%	11,17%	10%	11,50%

Fonte: Elaboração própria com base em GHG Protocol (FGV, 2025).

A.3.5. Beneficiamento

A.3.5.1. Processo de beneficiamento

A estimativa dessas emissões considerou o total de arroz beneficiado ano a ano, dado fornecido pelo IRGA (2025b), e o fator de emissão do estudo de Nunes et al. (2016), que inclui as emissões do processo de secagem, processamento e embalagem do arroz integral.

As emissões de GEE para essa fonte são calculadas segundo a equação a seguir:

$$E_{tCO_2e,y} = B_i \times EF \div F_c \times 10^{-3}$$

Em que:

- $E_{tCO_2e,y}$ – Emissões no ano y, em tCO₂e;
- y – Ano de referência do período analisado;
- B_i – Quantidade de arroz beneficiado (kg);
- EF – Fator de emissão do beneficiamento (kg CO₂e/ kg proteína), (Tabela A.74)
- F_c – Fator de conversão de kg de proteína/ kg de arroz;
- 10⁻³ – Fator de conversão de kg para toneladas;

Tabela A.74: **Resumo dos parâmetros utilizados para calcular as emissões do processo de beneficiamento**

Parâmetros	Valor	Unidade de Medida
EF Secagem	0,39	kg CO ₂ e/ kg proteína
EF Processamento	6,78	
EF Embalagem	0,38	
EF Total (EF)	7,55	
Fator de conversão (Fc)	13,16	kg de arroz/ kg de proteína

Fonte: Elaboração própria com base em Nunes et al. (2016).

A.4. PECUÁRIA

As premissas e metodologias de cálculo utilizadas para a cadeia da pecuária serão apresentadas por etapa, considerando as diferentes ramificações da cadeia.

A.4.1. Mudanças do Uso da Terra

Foram utilizados os dados previamente estimados pelo SEEG para contabilizar as emissões e remoções decorrentes da Mudança no Uso da Terra, em consonância com a metodologia que está sendo utilizada para o Inventário de Emissões e Remoções do Estado do Rio Grande do Sul. As emissões de Mudança no Uso da Terra incluem as emissões de Alterações do Uso da Terra, Carbono Orgânico no Solo, Remoção por Mudança de Uso da Terra e Resíduos Florestais.

O SEEG utiliza a série temporal mais completa de mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomass (MapBiomass, 2025) e os métodos e fatores publicados se baseiam no Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (Brasil, 2020a) que por sua vez são associados à proposta metodológica do IPCC (2003; 2006d). Para se obter as emissões associadas à pecuária, realizou-se um recorte para verificar as transições de uma área onde não havia ocorrência de pastagem para uma área de pastagem. Apresenta-se, na Tabela A.75, o resultado das emissões associadas à mudança de uso da terra para pastagem.

Tabela A.75: **Emissões/remoções associadas à mudança de uso da terra para pastagens (tCO₂e)**

Classe Inicial	Classe Final	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Alterações de uso da terra		204.59	266.327	236.863	191.165	480.679	285.703
Arroz	Pastagem	472	182	163	212	263	848
Campo alagado	Pastagem	199	790	1.442	1.747	2.268	74
Floresta plantada	Pastagem	15.646	11.352	9.998	10.507	10.475	14.654
Formação campestre	Pastagem	37.865	44.566	47.369	42.365	147.433	131.502
Formação florestal	Pastagem	125.718	196.780	165.912	123.677	307.031	122.763
Outras lavouras temporárias	Pastagem	22.663	9.880	9.625	11.038	11.024	13.761
Soja	Pastagem	1.086	1.283	1.155	875	961	957
Restinga arborizada	Pastagem	941	1.494	1.199	744	1.224	1.144

Classe Inicial	Classe Final	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Remoção por mudança de uso da terra		-683	-617	-423	-331	-258	-295
Área urbanizada	Pastagem	-71	-86	-63	-38	-37	-31
Arroz	Pastagem	-6	-4	-2	-10	-1	0
Outras áreas não vegetadas	Pastagem	-275	-329	-197	-103	-78	-62
Outras lavouras temporárias	Pastagem	-319	-181	-154	-170	-136	-184
Soja	Pastagem	-12	-17	-7	-10	-6	-18
Remoção por mudança de uso da terra		14.579	19.115	27.016	32.458	58.593	33.359
Campo alagado	Pastagem	63	267	695	1.161	762	18
Formação campestre	Pastagem	11.820	14.855	22.631	27.823	49.096	30.959
Formação florestal	Pastagem	2.676	3.964	3.664	3.452	8.702	2.361
Restinga arborizada	Pastagem	20	29	26	22	33	21
Total		218.486	284.825	263.456	223.292	539.014	318.767

Fonte: SEEG (2024a).

Além da classe "Pastagem", o SEEG apresenta também emissões associadas à Mudança do Uso da Terra para a classe denominada Mosaico de agricultura e pastagem. A vegetação foi classificada desta forma quando não foi possível diferenciar se a área é de atividade agrícola ou de pecuária (SEEG, 2024b). Estes casos são apresentados separadamente na seção A.4.11.1, devido às incertezas acerca da metodologia utilizada na estimativa das emissões.

A.4.2. Calagem e fertilização das pastagens

Inicialmente, para o cálculo de fertilizantes aplicados em pastagens, foram obtidas as áreas totais de pastagem no estado, conforme Tabela A.76.

Tabela A.76: **Áreas de pastagem no RS**

Ano	Área de Pastagem (ha)
2018	7.208.432
2019	6.992.907
2020	6.874.551
2021	6.699.897
2022	6.541.337
2023	6.426.217

Fonte: LAPIG (2025).

Com as áreas de pastagens no estado, foi calculado o nitrogênio total aplicado em pastagens no Rio Grande do Sul com base na estimativa de nitrogênio aplicado em pastagens para fertilização, em kg/hectare, fornecida pela International Fertilizer Association (IFA, 2022).

Foi utilizada a medida de 46% de nitrogênio na ureia (FGV, 2019) e a estimativa do Inventário Nacional de que cerca de 54,6% do fertilizante sintético nitrogenado é proveniente da aplicação de ureia, enquanto os 45,4% restantes correspondem aos demais tipos de fertilizantes nitrogenados (Brasil, 2020c). O dado de percentual de nitrogênio volatilizado (30%) e lixiviado (10%) foi obtido do IPCC (2006b).

O consumo de calcário agrícola no RS, de 2018 a 2023, em toneladas, foi obtido da Abracal, conforme apresentado na Tabela A.77 (Abracal, 2025). O Inventário Nacional considera 100% do calcário aplicado no Brasil como dolomítico (Brasil, 2020c), e o SEEG estima que cerca de 10% do calcário agrícola utilizado no país é destinado às pastagens (SEEG, 2024c). Essa premissa foi, então, aplicada também ao RS.

Tabela A.77: Quantidade de Calcário Agrícola consumido no RS, por peso e ano

Ano	RS (t)
2018	3.648.800
2019	3.628.000
2020	3.258.500
2021	4.795.200
2022	4.137.600
2023	3.936.800

Fonte: Abracal (2025).

Para o cálculo das emissões foram aplicados os fatores de emissão utilizados pelo Inventário Nacional (Brasil, 2020c), conforme descrito na Tabela A.78.

Tabela A.78: Fatores de emissão para os Fertilizantes aplicados às pastagens

Fertilizante	Fator de Emissão	Unidade
Calcário Dolomítico	0,1300	tC / tonelada de Calcário
Ureia	0,2000	tC / tonelada de Ureia
Fertilizante sintético Nitrogenado (Inclui ureia)	0,0100	kg N ₂ O-N / kg de N aplicado
Fertilizante sintético Nitrogenado (Inclui ureia)	0,0075	kg N ₂ O-N / kg de N lixiviado
Fertilizante sintético Nitrogenado (Inclui ureia)	0,0100	kg N ₂ O-N / kg de N volatilizado

Fonte: Brasil (2020c).

Com as informações descritas acima, foram calculadas as emissões diretas (decorrentes do consumo de calcário e fertilizantes nitrogenados sintéticos) e indiretas (decorrentes do nitrogênio lixiviado e volatilizado nos fertilizantes nitrogenados sintéticos). A estimativa de emissões decorrentes da fertilização de pastagens no RS, em tCO₂e, entre 2018 e 2023, é apresentada na Tabela A.79.

Tabela A.79: Emissões decorrentes do uso de fertilizantes em pastagem

Ano	Nitrogênio total aplicado em pastagens (Kg N)	Emissões diretas (tCO ₂ e)	Emissões indiretas (tCO ₂ e)
2018	309.962.590	1.734.501	419.501
2019	300.694.993	1.686.850	406.958
2020	295.605.700	1.643.614	400.071
2021	288.095.581	1.679.052	389.907
2022	281.277.478	1.613.379	380.679
2023	276.327.348	1.578.885	373.979

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2020c), LAFIG (2025), Abracal (2025) e IFA (2022)

A.4.3. Produção de ração

Nesta etapa da cadeia produtiva dos bovinos, são mensuradas as emissões atreladas à produção dos alimentos consumidos pelos bovinos durante seu ciclo de vida. Para o cálculo das emissões associadas à produção da ração destinada aos bovinos, considerou-se todas as emissões associadas ao ciclo de vida da soja, abrangendo desde o cultivo até o processamento em farelo e ração. A quantidade de farelo e ração utilizadas na alimentação dos animais foram estimadas com base em dados do banco Ecoinvent v3.11, relativos à produção de carne e leite. A partir da quantidade de farelo de soja (bovino de corte) e ração de soja (bovino leiteiro) necessárias para a produção de um quilograma de carne e leite extraída deste banco de dados, estimou-se a quantidade de soja necessária por bovino, por ano (Tabela A.80).

Tabela A.80: Quantidade de produto derivado da soja consumido por categoria de bovino, por ano

Tipo de Bovino	Quantidade consumida (kg/ano/bovino)	Produto
Bovino de Corte	4,86	Farelo de soja
Bovino de Leite	151,15	Ração de soja

Fonte: Elaboração própria com base em Ecoinvent v3.11.

As emissões da etapa foram calculadas com base nos indicadores de emissão, por etapa da cadeia da soja, por tonelada de soja produzida, conforme Tabela A.81:

Tabela A.81: Indicadores de emissões por tonelada de soja produzida, para o farelo de soja (em tCO₂e / tonelada de soja)

Ano	Mudança de Uso do Solo	Resíduos agrícolas da soja	Fertilizantes aplicados na soja	Consumo de diesel no cultivo	Transporte da soja ao processamento	Processamento da soja em farelo
2018	0,209	0,082	0,085	0,027	0,013	0,011
2019	0,199	0,082	0,081	0,026	0,013	0,011
2020	0,084	0,082	0,125	0,043	0,013	0,011
2021	0,006	0,082	0,088	0,024	0,013	0,011
2022	0,008	0,082	0,175	0,056	0,013	0,011
2023	0,003	0,082	0,129	0,042	0,012	0,011

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A Ração de soja considera também os seguintes indicadores da Tabela A.82, além daqueles dados na Tabela A.81.

Tabela A.82: Indicadores de emissões por tonelada de soja produzida, para a ração de soja (em tCO₂e / tonelada de soja)

Ano	Transporte do farelo para a produção de ração	Processamento do farelo em ração
2018	0,001	0,007
2019	0,001	0,007
2020	0,001	0,007
2021	0,001	0,007
2022	0,001	0,007
2023	0,001	0,007

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul (SEAPI) forneceu os dados de rebanho de bovinos no estado, por município, no período de 2018 a 2023, com informações sobre faixa etária, gênero dos animais e tipo de animal (corte, leite, misto e outros) (Rio Grande do Sul, 2025a). Para a correta aplicação das metodologias de cálculo de emissões, foi necessário realizar a correlação entre as categorias "misto" e "não informado" com os sistemas de produção de corte e leite. Para classificar estes animais, adotou-se a proporção entre bovinos de corte e leiteiros observada em cada município. A Tabela A.83 apresenta a quantidade de bovinos de corte e leiteiros, por ano.

Tabela A.83: Rebanhos de corte e leite

Ano	Bovinos de corte	Bovinos de leite
2018	11.307.268	1.476.105
2019	10.997.934	1.347.163
2020	10.897.200	1.189.860
2021	10.249.569	1.161.466
2022	10.605.334	1.117.564
2023	10.892.628	1.127.245

Fonte: Rio Grande do Sul (2025a).

Com base nos indicadores e na quantidade de bovinos, por categoria, as emissões totais derivadas do ciclo de vida da ração e do farelo de soja foram estimadas (Tabela A.84):

Tabela A.84: Emissões associadas à produção de ração de soja para o rebanho leiteiro

Ano	Emissões associadas ao farelo de soja (tCO ₂ e) – bovinos de corte	Emissões associadas à ração de soja (tCO ₂ e) – bovinos leiteiros
2018	29.029,91	97.353,45
2019	27.185,42	85.601,14
2020	23.389,38	65.841,03
2021	13.799,78	40.858,89
2022	21.964,61	59.721,62
2023	18.217,12	48.898,92

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.4.4. Resíduos Agrícolas das Pastagens

As emissões de GEE associadas aos resíduos agrícolas em áreas de pastagem, para o período de 2018 a 2023, foram extraídas da plataforma SEEG (2024a). O SEEG baseou-se nos dados do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE para o cálculo de resíduos agrícolas. No entanto, para o cálculo das emissões associadas às pastagens, os dados foram extraídos a partir do MapBiomass para desenvolvimento de um fator proxy de emissões de N por hectare, não disponível na literatura. A seguir, são apresentados estes resultados, por ano (Tabela A.85).

Tabela A.85: Emissões de resíduos agrícolas em pastagens (tCO₂e)

Ano	Emissões Totais (tCO ₂ e)
2018	27.712
2019	26.903
2020	26.664
2021	26.239
2022	26.131
2023	26.356

Fonte: Elaboração própria com base em SEEG (2024a).

A.4.5. Criação dos Bovinos de Corte e Leiteiros

Nesta etapa da cadeia produtiva, são calculadas as emissões associadas à criação dos bovinos de corte e leiteiros, provenientes principalmente da fermentação entérica e dos dejetos dos bovinos. O cálculo considera as seguintes variáveis: Tipo de animal (bovino de corte ou leiteiro), gênero, faixa de idade, estado de confinamento, condições de manejo dos dejetos e produtividade (para bovinos leiteiros). Os dados de bovinos de corte e leite foram obtidos da SEAPI (ver item A.4.3) (Rio Grande do Sul, 2025a).

Ainda, conforme Inventário Nacional de GEE (Brasil, 2020d), para estabelecimento do rebanho confinado no Rio Grande do Sul, considerou-se a razão entre o número de bovinos confinados e número total de bovinos no estado, fornecida pela Tabela A.86 de confinamento de bovinos nos estabelecimentos agropecuários, do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006).

Tabela A.86: Razão entre bovinos confinados e total de bovinos no RS, no ano de 2006

Tipo de Bovino	nº de Bovinos	% do total
Bovinos Confinados	160.831	2%
Bovinos não confinados	7.465.984	98%
Total de Bovinos	7.626.815	100%

Fonte: IBGE (2006)

Para definir a produtividade das vacas leiteiras no Rio Grande do Sul, conforme as premissas do Inventário Nacional de GEE (Brasil, 2020d), foram analisados, no período de 2018 a 2023, os dados de produção total de leite e o número de vacas ordenhadas por município. Com base nesses dados, obtidos a partir da Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE (2024d e 2024e), tabelas 74 e 94, calculou-se a produtividade média por vaca. A partir desse indicador, determinou-se para todos os municípios quais deles seriam definidos como de alta (acima de 2.000 litros/vaca/ano) e baixa (abaixo de 2.000 litros/vaca/ano) produtividade de leite.

Com base nos dados disponíveis, aplicaram-se os fatores de emissão de metano (CH₄) provenientes da fermentação entérica, bem como as emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) decorrentes do manejo de dejetos (Tabela A.87). Os métodos e fatores de emissão adotados baseiam-se no Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 2020d).

Tabela A.87: Fatores de emissão de CH₄, para a Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos

Tipo de Bovino	tCH ₄ / animal (Fermentação Entérica)	tCH ₄ / animal (Manejo de Dejetos)
Bovinos de corte <12 meses	0,03400	0,00080
Bovinos de corte entre 12 e 24 meses	0,05200	0,00090
Bovinos de corte Fêmea > 24 meses, não confinado	0,06400	0,00120
Bovinos de corte Macho > 24 meses, não confinado	0,07900	0,00140
Bovinos de corte > 24 meses, confinado	0,06300	0,00290
Bovino leiteiro de baixa produção	0,09100	0,00340
Bovino leiteiro de alta produção	0,09500	0,02790

Fonte: Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (Brasil, 2020d)

As emissões de óxido nitroso (N₂O) provenientes dos dejetos bovinos variam de acordo com o tipo de sistema de manejo utilizado e quantidade de nitrogênio excretada pelo bovino anualmente. Para o cálculo, foram adotadas as taxas de excremento e proporções de sistemas de manejo estabelecidas no Inventário Nacional (Brasil, 2020e), e os fatores de emissão fornecidos pelo IPCC para cada sistema de manejo, conforme Tabela A.88 e A.89.

No caso dos bovinos leiteiros, as proporções aplicadas consideram o nível de produtividade dos animais. Para bovinos de baixa produtividade, 71,71% dos dejetos são manejados em pastagem, 28,16% em sistemas de armazenamento sólido e 0,13% em digestor anaeróbio. Já para bovinos de alta produtividade, a mesma proporção de 71,71% é mantida para o manejo em pastagem, enquanto 28,16% são destinados a lagoas anaeróbias e o restante (0,13%) a digestores anaeróbios.

Para bovinos de corte, as emissões foram estimadas com base no percentual de animais em confinamento, sendo 2,1% dos dejetos manejados em lagoas anaeróbias (bovinos confinados) e 97,9% em pastagem.

Tabela A.88: Taxa de excreção anual dos bovinos

Tipo de bovino	kg N / tonelada
Corte	102,2
Leiteiro	164,25

Fonte: Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (Brasil, 2020e)

Tabela A.89: Parâmetros usados para estimar as emissões diretas de N₂O para o Manejo de Dejetos

Parâmetro	Fator de Emissão Direta (kg N ₂ O-N / Kg de excremento)
Animais em Pastagem	0,015
Armazenamento Sólido	0,01
Biodigestor	0,0006
Lagoa Anaeróbia	0

Fonte: IPCC (2019d) e IPCC (2019e).

Com os fatores de emissão por tipo de bovino, foram estimadas as emissões totais dos bovinos de corte e leite, conforme apresentado nas Tabelas A.90 e A.91. Vale ressaltar que o número de bovinos leiteiros inclui tanto as vacas lactantes (maiores que 24 meses) como outros bovinos com idade inferior a 24 meses.

Tabela A.90: Estimativa de emissões dos Bovinos de corte

Ano	Tipo	nº de Bovinos	Fermentação Entérica (tCO ₂ e)	Manejo de Dejetos (tCO ₂ e)	Emissões Totais (tCO ₂ e)
2018	Corte	11.307.268	19.901.099,14	2.799.252,00	22.700.351,14
2019	Corte	10.997.934	19.312.640,81	2.710.100,75	22.022.741,56
2020	Corte	10.897.200	18.967.707,50	2.657.165,87	21.624.873,36
2021	Corte	10.249.569	17.722.362,73	2.483.255,35	20.205.618,07
2022	Corte	10.605.334	18.204.661,21	2.552.567,95	20.757.229,15
2023	Corte	10.892.628	18.800.539,04	2.640.144,39	21.440.683,42

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Rio Grande do Sul (2025a); Brasil (2020e); IPCC (2019d; 2019e); IBGE (2006).

Tabela A.91: Estimativa de emissões dos Bovinos leiteiro

Ano	Tipo	nº de Bovinos	Fermentação Entérica (tCO ₂ e)	Manejo de Dejetos (tCO ₂ e)	Emissões Totais (tCO ₂ e)
2018	Leite	1.476.105	3.158.339,59	1.258.227,06	4.416.566,65
2019	Leite	1.347.163	2.887.887,18	1.153.663,61	4.041.550,78
2020	Leite	1.189.860	2.541.865,53	1.016.039,62	3.557.905,15
2021	Leite	1.161.466	2.458.816,64	977.518,43	3.436.335,07
2022	Leite	1.117.564	2.311.821,56	903.462,96	3.215.284,52
2023	Leite	1.127.245	2.346.957,50	918.589,17	3.265.546,67

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Rio Grande do Sul (2025a); Brasil (2020e); IPCC (2019d; 2019e); IBGE (2006).

É importante destacar que alguns estudos preliminares estaduais (Tier 3) demonstram que o fator de emissão de fermentação entérica pode ter um valor inferior ao adotado pelo inventário nacional.

Um estudo sobre emissões de metano entérico por bovinos de corte em pastagem natural no Rio Grande do Sul demonstrou, por exemplo, que as emissões do rebanho alimentado por pastagens naturais, pastagens naturais fertilizadas e pastagens naturais fertilizadas e sobressemeadas seriam inferiores àquelas disponibilizadas como fator de emissão pelo IPCC (*Genro et al.*, 2020). Um segundo estudo simulou a diferença de emissões decorrentes do rebanho de bovinos de corte do RS ao comparar o fator de emissão encontrado no estudo anteriormente mencionado com aquele recomendado pelo IPCC. Os resultados indicaram que, se adotado o fator do estudo, haveria uma redução de 30,1% nas emissões totais (*Genro et al.*, 2023).

Embora essas pesquisas apresentem resultados promissores sobre as emissões de bovinos criados no Rio Grande do Sul, ainda se encontram em estágios preliminares. Por esse motivo, não foram considerados no cálculo das emissões.

Diante disso, recomenda-se a ampliação das pesquisas, com um número maior de animais e a inclusão de diferentes regiões do estado, incorporando tecnologias avançadas de monitoramento de metano e testar práticas de manejo com potencial para reduzir as emissões de GEE na pecuária estadual. Nesse contexto, o governo do estado do Rio Grande do Sul já vem investindo em projetos que buscam expandir monitoramento de gases de efeito estufa nos campos e nas florestas (edital FAPERGS/SEMA 05/2023).

A.4.6. Movimentação de Bovinos Vivos

Durante o ciclo de vida dos bovinos, eles são transportados por diversas razões (como engorda, cria, exportação, etc.) dentro dos limites do mesmo município, entre cidades no estado do Rio Grande do Sul e entre estados do Brasil. A SEAPI forneceu os dados de número de bovinos movimentados a partir das guias de transporte animal (GTA), dos anos de 2018 a 2023, com a faixa de idade dos bovinos, gênero e tipo de animal (corte, leite, misto), finalidade da movimentação, município de origem e município de destino (Rio Grande do Sul, 2025b).

Para o cálculo das emissões associadas ao transporte de bovinos vivos, foram considerados (I) o peso estimado dos bovinos transportados e (II) a quilometragem média percorrida entre municípios e dentro deles, além do (III) modal de transporte e (IV) a composição do combustível utilizado no transporte.

O peso médio dos bovinos foi estimado com base no tipo de animal (corte ou leite) e sua faixa de idade (Tabela A.92). Para os animais classificados como "misto" ou "sem informação", adotou-se a proporção entre bovinos de corte e leiteiros observada em cada município. Após realizada a correlação, os pesos foram estimados com base no Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (Brasil, 2020d), considerando a média de peso dos animais na região sul do país.

Tabela A.92: Peso médio dos bovinos, por faixa de idade, tipo de animal e gênero.

Faixa de Idade	Tipo de Bovino	peso (t)
<12 meses	Corte	0,16
entre 12 e 24 meses	Corte	0,29
Macho >24 meses, Não Confinado	Corte	0,37
Fêmea >24 meses, Não Confinado	Corte	0,33
>24 meses, confinado	Corte	0,36
Leiteiro >24 Meses (Baixa e Alta Produtividade)	Leite	0,52

Fonte: Inventário Nacional de Emissões e Remoções de GEE (Brasil, 2020d)

A quilometragem média foi estimada com base nos dados de município de origem e de destino, considerando três premissas distintas: Movimentações dentro do próprio município, movimentações intermunicipais e movimentações interestaduais.

Para movimentações no mesmo município, a partir dos dados de área dos municípios do RS obtidos no IBGE (2024f) e na falta de informações sobre a distância percorrida dentro dos municípios pelos bovinos, adotou-se a premissa de que a distância média de deslocamento dentro do município é dada pelo diâmetro de um círculo, considerando a área total da cidade:

$$D_m = \sqrt{4A/\pi} \quad (X)$$

Sendo:

D_m = Distância média de deslocamento no município (em km);

A = Área total do Município (em km²).

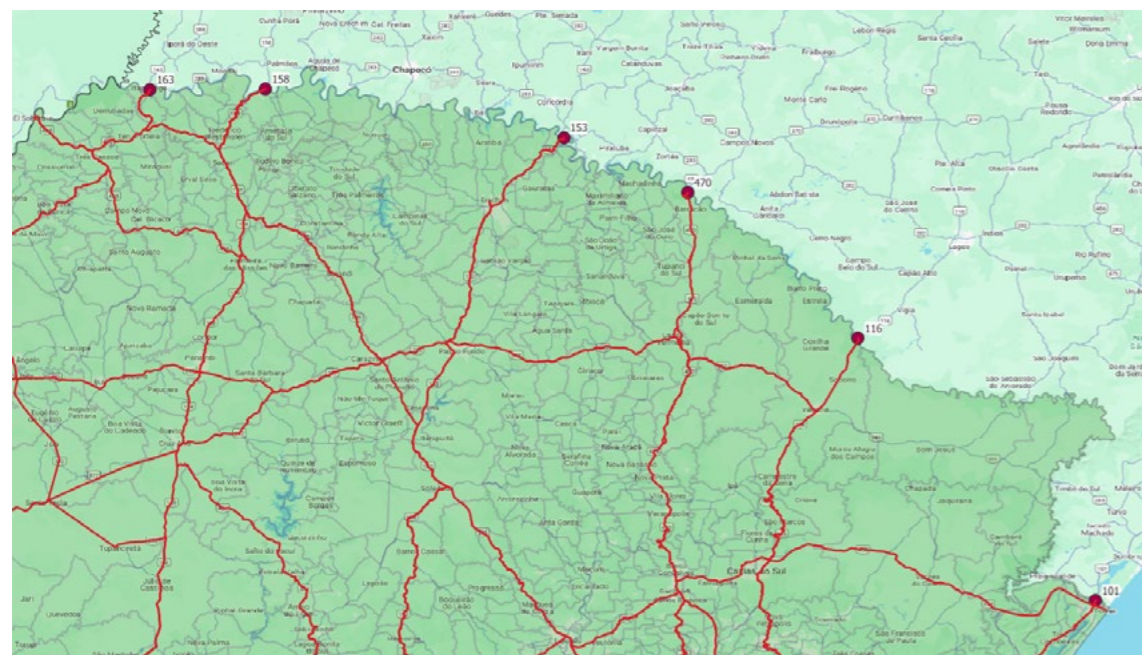
Essa escolha se baseia no fato de que, desconhecendo-se o formato exato do território, o diâmetro é a maior distância possível inteiramente contida dentro de uma área desconhecida. Realizou-se, assim, uma estimativa conservadora para a movimentação dentro da mesma cidade.

Para as movimentações intermunicipais, foi calculada a distância entre o ponto médio da cidade de origem e o ponto médio da cidade de destino, utilizando a função de rotas do Open Source Routing Machine (OSRM), que é baseado no OpenStreetMap.

Por fim, para as movimentações interestaduais, considerou-se somente as atividades que ocorrem dentro do estado do Rio Grande do Sul, portanto, para as movimentações cujo destino é fora do estado, foram definidos pontos na fronteira do estado como novo destino.

Para definir-se os pontos de saída na fronteira do RS, foram sobrepostas as camadas de Mapa Rodoviário do Brasil (Google Maps - Google, 2025), malha municipal do Rio Grande do Sul, com opacidade de 30% (IBGE, 2024c) e malha rodoviária federal do Brasil (DNIT, 2023). Em seguida, foram colocados pontos em cada uma das 6 saídas federais do estado do RS em 2023 (Figura A.3).

Figura A.3: Saídas federais do RS.



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tendo os pontos de saída do estado, foi calculada a distância entre o ponto médio da cidade (origem) e cada um dos pontos de saída do estado (destinos), adotando como rota aquela de menor distância, utilizando a função de rotas do OSRM.

As movimentações de bovinos foram divididas pela finalidade, conforme base fornecida pela SEAPI a partir das guias de transporte animal (GTA), de acordo com a Tabela A.93.

Tabela A.93: Número de bovinos movimentados, por finalidade e ano

Tipo de Movimentação	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Bovino de corte: Transporte do gado para o abate	2.306.236	2.158.443	2.138.968	1.785.966	1.815.855	2.015.167
Bovino de corte: Transporte do gado vivo para o porto	169.036	131.839	107.841	11.482	38.982	191.060
Movimentação bovinos de corte (menos abate e exportação)	6.289.601	6.149.024	6.432.780	6.041.095	6.560.006	7.350.840
Movimentação bovinos leiteiro	124.341	135.278	122.928	118.959	100.231	95.202
Total Geral	8.889.214	8.574.584	8.802.517	7.957.502	8.515.074	9.652.269

Fonte: Elaboração própria com base em Rio Grande do Sul (2025b).

Atualmente, o óleo diesel comercializado no Brasil e utilizado no abastecimento de veículos rodoviários contém um percentual de biodiesel misturado em sua composição. Essa proporção varia anualmente e, para o cálculo das emissões, foi considerada a média anual de biodiesel incorporado ao diesel comercial em cada ano do período analisado (Tabela A.94).

Tabela A.94: Média anual do percentual de Biodiesel misturado no Óleo Diesel Comercial

Ano	Média Anual
2018	9,7%
2019	10,3%
2020	11,3%
2021	11,2%
2022	10,0%
2023	11,5%

Fonte: Planilha de cálculo GHG Protocol v.2025.0.1 (FGV, 2025)

Com base nos dados obtidos de peso dos bovinos, trechos percorridos e composição do óleo diesel comercial, foram aplicados os fatores de emissão para transporte de carga, disponíveis na ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol v2025.0.1 (FGV, 2025), para o modal rodoviário e, com os fatores, foram estimadas as emissões totais da movimentação de bovinos vivos, por finalidade e ano, conforme disposto nas Tabelas de A.95 a A.98.

Tabela A.95: Emissões do Transporte de gado para o abate

Ano	Finalidade	nº de Bovinos	Total de Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	Transporte do gado para o abate	2.306.236	29.273,66	2.878,99
2019	Transporte do gado para o abate	2.158.443	28.376,87	3.005,31
2020	Transporte do gado para o abate	2.138.968	28.213,82	3.313,94
2021	Transporte do gado para o abate	1.785.966	24.323,90	2.809,77
2022	Transporte do gado para o abate	1.815.855	24.205,23	2.471,68
2023	Transporte do gado para o abate	2.015.167	23.036,43	2.750,74

Fonte: Elaboração própria com base em Rio Grande do Sul (2025b) e FGV (2025)

Tabela A.96: Emissões do Transporte de gado de corte para exportação

Ano	Finalidade	nº de Bovinos	Total de Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	Transporte do gado de corte vivo para o porto	169.036	708,28	69,66
2019	Transporte do gado de corte vivo para o porto	131.839	396,49	41,99
2020	Transporte do gado de corte vivo para o porto	107.841	282,29	33,16
2021	Transporte do gado de corte vivo para o porto	11.482	59,13	6,83
2022	Transporte do gado de corte vivo para o porto	38.982	120,80	12,34
2023	Transporte do gado de corte vivo para o porto	191.060	583,55	69,68

Fonte: Elaboração própria com base em Rio Grande do Sul (2025b) e FGV (2025)

Tabela A.97: Emissões da Movimentação bovinos de corte (menos abate e exportação)

Ano	Finalidade	nº de Bovinos	Total de Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	Movimentação bovinos de corte (menos abate e exportação)	6.289.601	34.011,94	3.344,99
2019	Movimentação bovinos de corte (menos abate e exportação)	6.149.024	32.065,84	3.396,00
2020	Movimentação bovinos de corte (menos abate e exportação)	6.432.780	35.486,13	4.168,13
2021	Movimentação bovinos de corte (menos abate e exportação)	6.041.095	30.000,67	3.465,52
2022	Movimentação bovinos de corte (menos abate e exportação)	6.560.006	32.745,14	3.343,72
2023	Movimentação bovinos de corte (menos abate e exportação)	7.350.840	31.884,81	3.807,31

Fonte: Elaboração própria com base em Rio Grande do Sul (2025b) e FGV (2025)

Tabela A.98: Emissões da Movimentação bovinos leiteiros (menos abate e exportação)

Ano	Finalidade	nº de Bovinos	Total de Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	Movimentação bovinos leiteiro (menos abate e exportação)	124.341	403,73	39,71
2019	Movimentação bovinos leiteiro (menos abate e exportação)	135.278	488,70	51,76
2020	Movimentação bovinos leiteiro (menos abate e exportação)	122.928	434,04	50,98
2021	Movimentação bovinos leiteiro (menos abate e exportação)	118.959	336,32	38,85
2022	Movimentação bovinos leiteiro (menos abate e exportação)	100.231	251,83	25,72
2023	Movimentação bovinos leiteiro (menos abate e exportação)	95.202	221,05	26,40

Fonte: Elaboração própria com base em Rio Grande do Sul (2025b) e FGV (2025)

A partir das premissas e estimativas adotadas, obtêm-se os seguintes resultados totais de emissões para a movimentação de bovinos (Tabela A.99):

Tabela A.99: Emissões Totais da Movimentação de bovinos vivos (de corte e leiteiros)

Ano	nº de Bovinos Movimentados	Total de Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	8.889.214	64.398	6.333
2019	8.574.584	61.328	6.495
2020	8.802.517	64.416	7.566
2021	7.957.502	54.720	6.321
2022	8.515.074	57.323	5.853
2023	9.652.269	55.726	6.654

Fonte: Elaboração própria com base em Rio Grande do Sul (2025b) e FGV (2025)

A.4.7. Abate dos animais para a produção de carne

Para a etapa de produção da carne, foram considerados abatidos todos os animais movimentados cuja finalidade era Abate, conforme dados apresentados pela SEAPI a partir das guias de transporte animal (GTA) (Rio Grande do Sul, 2025b).

Nesta etapa, foram consideradas somente as emissões que ocorreram no abate e produção da carne. Para estimativa destas emissões, utilizou-se o estudo "Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia" (FGV, 2019), no qual os frigoríficos apresentam uma emissão média de aproximadamente 78 kg CO₂e por animal abatido, considerando o consumo de energia durante o processo de abate e o tratamento dos efluentes gerados.

Embora os dados não tenham sido obtidos por meio de um estudo amostral representativo das emissões brasileiras para esta atividade, foram coletadas informações de nove frigoríficos, o que permitiu uma estimativa plausível das emissões.

As emissões totais foram estimadas considerando o número de animais transportados para o abate e a pegada de carbono por animal abatido, conforme apresentado na Tabela A.100.

Tabela A.100: Estimativa de emissões dos frigoríficos para o abate dos animais

Ano	nº de Bovinos Abatidos	Total de Emissões (tCO ₂ e)
2018	2.306.236	179.886,41
2019	2.158.443	168.358,55
2020	2.138.968	166.839,50
2021	1.785.966	139.305,35
2022	1.815.855	141.636,69
2023	2.015.167	157.183,03

Fonte: Elaboração própria a partir de Rio Grande do Sul (2025b) e FGV (2019).

A idade média dos bovinos abatidos foi calculada considerando o número de bovinos transportados para o abate, por faixa média de idade, obtidos da SEAPI a partir das guias de transporte animal (GTA), conforme Tabela A.101.

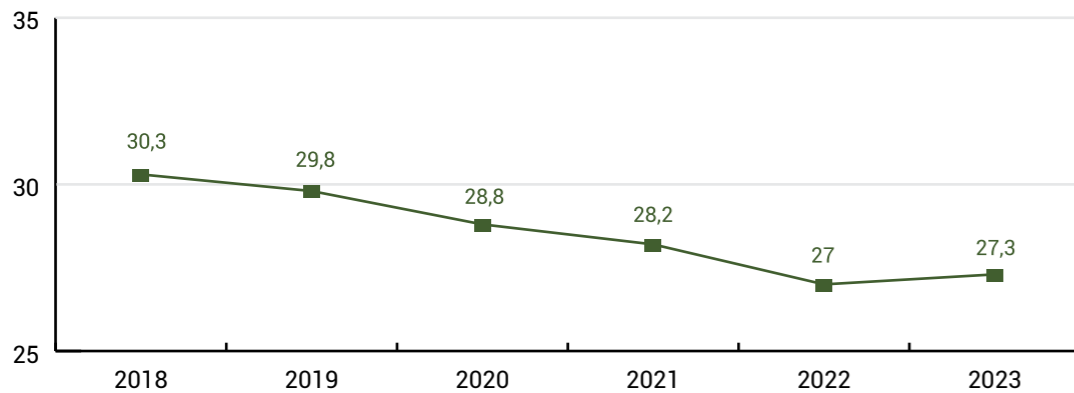
Tabela A.101: Número de animais transportados para o abate, por idade.

Idade (meses)	2018	2019	2020	2021	2022	2023
6	69.563	76.418	105.051	98.694	99.369	86.353
18	444.379	462.041	544.888	507.959	636.940	711.489
30	527.316	476.528	414.223	300.065	307.503	346.380
36	1.264.978	1.143.456	1.074.806	879.248	772.043	870.945

Fonte: Elaboração própria a partir de Rio Grande do Sul (2025b).

Observou-se uma redução na idade média dos bovinos de corte destinados ao abate (Figura A.4), que evidencia uma maior eficiência na criação e engorda dos bovinos no estado, indicando uma potencial menor pegada de carbono da carne gaúcha entre 2018 e 2023.

Figura A.4: Idade média de abate dos bovinos (em meses) no período analisado



Fonte: Elaboração própria a partir de Rio Grande do Sul (2025b).

A.4.8. Transporte de carne para o consumidor

Após o abate, a carne bovina é transportada para os mercados interno e externo, onde é comercializada. As emissões associadas a essa etapa de transporte foram calculadas com base nos dados de saídas de carne bovina, em quilogramas, fornecidos pela Secretaria da Fazenda do Rio Grande do Sul (SEFAZ-RS) (Rio Grande do Sul, 2025c).

De acordo com a SEFAZ-RS, os dados consideram as NCMs (Nomenclatura Comum do Mercosul) correspondentes aos cortes e representam, no mínimo, 90% do volume total de saídas do setor, no período de 2018 a 2023.

Para o cálculo das emissões associadas ao transporte da carne bovina, foram considerados o peso total da carne transportada e a quilometragem média percorrida, além do modal de transporte e a composição do combustível utilizado no transporte.

Diante do não fornecimento de informações locais, a quilometragem média foi estimada com base em dados disponíveis no inventário de ciclo de vida carne (Market for red meat, live weight/ Global - GLO) do banco de

dados da Ecoinvent (v.3.11), que dispõe de informações sobre a quilometragem média percorrida pela carne e o modal de transporte em âmbito global.

Para o cálculo das emissões, foi considerada a média anual de biodiesel incorporado ao diesel comercial em cada ano do período analisado, conforme dados já apresentados na Tabela A.94.

Com base nos dados obtidos, foram aplicados os fatores de emissão para transporte de carga, de acordo com o a ferramenta do GHG Protocol v2025.0.1 e, por fim, estimadas as emissões totais do transporte de carne no mercado interno e externo, conforme disposto na Tabela A.102.

Tabela A.102: Estimativa de emissões da carne bovina transportada, por ano

Ano	Peso da carne (toneladas)	Total de Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas Totais (tCO ₂ e)
2018	410.980,84	36.828,78	3.622,02
2019	391.966,93	34.180,26	3.619,93
2020	401.843,44	34.192,78	4.016,22
2021	356.528,05	31.065,33	3.588,51
2022	364.501,84	31.179,81	3.183,88
2023	408.917,75	32.009,64	3.822,22

Fonte: Elaboração própria com base em Rio Grande do Sul (2025c).

A.4.9. Transporte de leite para a indústria

A estimativa do transporte do leite até a indústria baseou-se no dado da Embrapa sobre a eficiência da captação de leite no Brasil, correspondente a 57 litros por quilômetro rodado (Embrapa, 2024). Com base no dado de litros de leite produzidos no estado do RS (IBGE, 2024d), foi possível estimar a quilometragem total percorrida para transporte do leite.

A partir da quilometragem calculada e da estimativa de eficiência de 2,9 km/litro para um caminhão obtida do Programa Brasileiro GHG Protocol (FGV, 2025), foi estimada a quantidade de óleo diesel comercial utilizado no transporte.

O cálculo das emissões considerou a média anual de biodiesel incorporado ao diesel comercial em cada ano do período analisado (Tabela A. 94). Com base nos dados obtidos, foram aplicados os fatores de combustível móvel de diesel comercial, disponíveis na ferramenta do GHG Protocol v2025.0.1, e foram estimadas as emissões totais do transporte de leite até a indústria, conforme disposto na Tabela A.103.

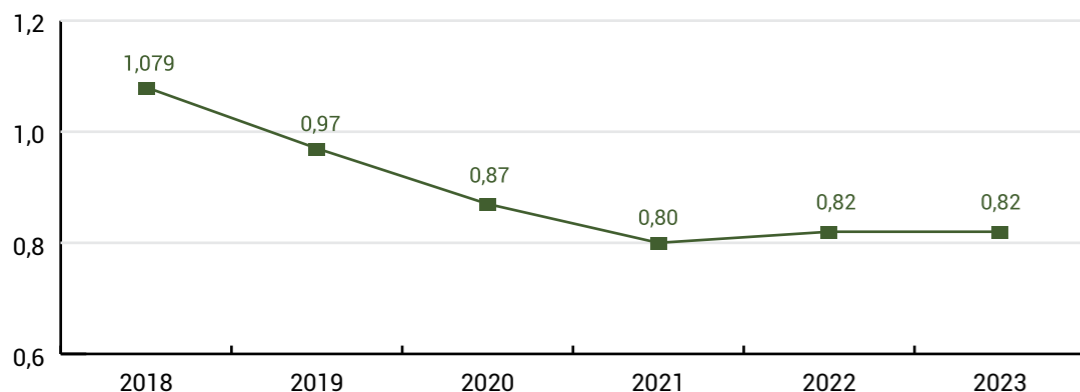
Tabela A.103: Estimativa de emissões de leite transportado, por ano

Ano	Quantidade de leite produzida (mil litros)	Quilômetro total percorrido	Consumo de Combustível	Emissões Totais (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	4.242.296	74.426.246	25.664.223	61.323,37	6.031,01
2019	4.302.968	75.490.667	26.031.264	61.744,15	6.539,14
2020	4.249.810	74.558.070	25.709.679	60.305,46	7.083,36
2021	4.400.349	77.199.105	26.620.381	62.558,28	7.226,41
2022	4.071.669	71.432.789	24.631.996	58.641,06	5.988,04
2023	4.114.171	72.178.439	24.889.117	58.271,67	6.958,13

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Rio Grande do Sul (2025a); Brasil (2020e); IPCC (2019d; 2019e); IBGE (2006).

Considerando, na cadeia dos bovinos leiteiros, as emissões associadas à alimentação, criação, movimentação ao longo da vida e, em seguida, o transporte do leite produzido para a indústria, observou-se uma redução de 24% nas emissões por mil litros de leite produzido, conforme Figura A.5. Essas reduções evidenciam uma maior produtividade e competitividade da bovinocultura de leite no estado do RS, bem como uma melhora na eficiência de criação destes bovinos.

Figura A.5: Pegada de carbono do leite no período analisado (tCO₂e / mil litros de leite produzido)



Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2024d).

A.4.10. Produção de laticínios e derivados

As emissões estimadas para essa etapa da cadeia consideraram o consumo industrial de energia elétrica e térmica na fabricação dos produtos derivados de leite de vaca. Foram utilizados dados de produção de produtos lácteos no Rio Grande do Sul entre os anos de 2021 e 2023, obtidos na PGA-SIGSIF (Plataforma de Gestão Agropecuária - Sistema de Informações Gerenciais do Serviço de Inspeção Federal) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Brasil, 2025f).

Para estimativa dos dados de produção de 2018 a 2020, utilizou-se a produção de leite anual no estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2024d) e, com base nas informações de produção de laticínios de 2021 a 2023, foi criado um indicador de produção de laticínio/litro de leite para os anos de 2021 a 2023.

Em seguida, foi realizada a média dos indicadores e aplicada na produção de leite dos anos de 2018 a 2020, obtendo-se, assim, a produção de laticínios nos anos faltantes.

Para o cálculo, foram consideradas as metodologias e fatores de emissões de GEE disponíveis no programa brasileiro GHG Protocol (v2025.0.1) (FGV, 2025). Para os dados de entrada, foram utilizados artigos científicos (Coutinho et al., 2008; González-García et al., 2013), e a base de dados da Ecoinvent 3.11, onde foi possível obter o consumo industrial médio de energia elétrica (em kWh) e térmica (em MJ) para as múltiplas categorias de laticínios.

Na Tabela A.104, estão apresentados os produtos lácteos contabilizados de forma categorizada, e suas respectivas fontes de dados para as demandas energéticas de fabricação.

Tabela A.104: Produtos lácteos categorizados e fonte de dados das respectivas demandas energéticas de fabricação.

Produto Lácteo Categorizado	Fonte de dado para contabilização da energia elétrica e térmica consumida
Manteiga	Ecoinvent v3.11 / Butter production, from cow milk/ Global (GLO)
Queijo não maturado	Ecoinvent v3.11 / cheese production, soft, from cow milk: cheese, from cow milk, fresh, unripened/ Global (GLO)
Soro de leite e derivados	Ecoinvent v3.11 / cheese production, soft, from cow milk: whey/ Global (GLO)
Produtos lácteos fermentados	Ecoinvent v3.11 / yogurt production, from cow milk/ Rest-of-World (RoW)
Leite desnatado e semidesnatado	Ecoinvent v3.11 / butter production, from cow milk: skimmed milk, from cow milk / Global (GLO)
Nata	Ecoinvent v3.11/ yogurt production, from cow milk: cream, from cow milk/ Rest-of-World (RoW)
Creme de leite	Ecoinvent v3.11/ yogurt production, from cow milk: cream, from cow milk/ Rest-of-World (RoW)
Leite cru refrigerado	Coutinho et al., 2008. Estudo e diagnóstico para balanço agroenergético em propriedade rural produtora de leite.
Leite em pó	Ecoinvent v3.11/ evaporation of milk: milk evaporation/ Rest-of-World (RoW)/ milk spray-drying: spray-drying of milk/ Rest-of-World (RoW)
Leite em pó desnatado e semidesnatado	Ecoinvent v3.11/ Market for skimmed milk, from cow milk / Global (GLO) / evaporation of milk: milk evaporation/ Rest-of-World (RoW)/ milk spray-drying: spray-drying of milk/ Rest-of-World (RoW)
Leitelho em pó	Ecoinvent v3.11/ butter production, from cow milk: buttermilk, from cow milk/ Global (GLO)
Leite UHT	González-García et al., 2013. Using Life Cycle Assessment methodology to assess UHT milk production in Portugal.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

As emissões totais originadas do consumo de energia elétrica foram obtidas pelo produto do total de eletricidade estimada e o fator médio anual de emissão de CO₂e na geração de energia elétrica no SIN (Sistema Interligado Nacional), conforme a Tabela A.105. Já as emissões causadas pelo uso de combustíveis fósseis (gás natural e óleo combustível) para geração de calor nas indústrias foram calculadas com os fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis do GHG Protocol (v2025.0.1), apresentados na Tabela A.106.

Tabela A.105: Fator médio anual do SIN

Ano	Fator Médio Anual (tCO ₂ /MWh)
2018	0,0385
2019	0,0426
2020	0,1264
2021	0,0617
2022	0,0750
2023	0,0740

Fonte: Planilha de cálculo GHG Protocol v.2025.0.1 (FGV, 2025)

Tabela A.106: **Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis**

Combustível	Unidade	Fatores de Emissão (unidades convertidas)		
		CO ₂ (kg/un.)	CH ₄ (kg/un.)	N ₂ O (kg/un.)
Gás Natural	m ³	2,332	0,00004	0,000004
Óleo Combustível	Litros	3,106	0,00012	0,000024

Fonte: Planilha de cálculo GHG Protocol v. 2025.0.1 (FGV, 2025)

A Tabela A.107 apresenta o resultado de emissões de GEE em CO₂e por tipo de laticínio processado.

Tabela A.107: **Estimativa de emissões, em tCO₂e, decorrentes da produção de laticínios**

Produto	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Produto Lácteo em Pó	120.994,43	122.751,67	120.901,92	120.502,87	122.481,86	114.910,88
Produto Lácteo Cru	8.649,64	8.809,35	8.253,03	12.353,21	7.180,54	7.123,35
Produto Lácteo UHT	160.123,07	162.560,48	158.720,76	180.237,25	156.190,19	137.979,99
Queijo Não Maturado	30.341,56	30.837,26	29.688,68	27.024,63	26.989,09	33.810,47
Outros	6.277,63	6.385,03	6.087,27	7.055,79	5.982,28	5.271,77
Total	326.386,32	331.343,79	323.651,66	347.173,74	318.823,96	299.096,46

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.4.11. Transporte de laticínios para o consumidor

Após a etapa de produção, os laticínios são transportados para os mercados interno e externo, onde serão comercializados para o cliente final. As emissões associadas a essa etapa de transporte foram calculadas com base nos dados de laticínios produzidos, em quilogramas, obtidos do mapa produtivo de derivados de leite do MAPA (Brasil, 2025f), juntamente com a projeção para os anos de 2018 a 2021, conforme apresentado na seção de produtos decorrentes da produção de laticínios e derivados (ver item A.4.10).

Para o cálculo das emissões associadas ao transporte dos derivados do leite produzidos, foram considerados o peso total dos produtos e a quilometragem média percorrida, além do modal de transporte terrestre e a composição do combustível utilizado no transporte. Diante do não fornecimento de informações locais, a quilometragem média foi estimada com base nos fatores do banco de dados da Ecoinvent (v. 3.11), que dispõe de informações globais sobre as emissões associadas ao transporte de derivados de laticínios como manteiga, leite de vaca, soro de leite, iogurte, entre outros.

O cálculo das emissões considerou a média anual de biodiesel incorporado ao diesel comercial em cada ano do período analisado, conforme dado na Tabela A.94. Com base nos dados obtidos, foram aplicados os fatores de emissão para transporte de carga, disponíveis na ferramenta do GHG Protocol v2025.0.1, e foram estimadas as emissões totais do transporte de laticínios até o consumidor, conforme disposto na Tabela A.108.

Tabela A.108: **Estimativa de emissões dos laticínios transportada, por ano**

Ano	Peso dos laticínios (toneladas)	Total de Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas Totais (tCO ₂ e)
2018	1.744.139,76	56.717,87	5.486,44
2019	1.769.083,90	57.655,09	6.006,00
2020	1.747.229,00	56.035,38	6.472,18
2021	1.765.840,09	57.595,31	6.544,15
2022	1.715.396,67	54.659,76	5.487,92
2023	1.666.782,86	49.436,55	5.796,82

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2025f).

A.4.12. Abordagens em Construção

As estimativas de emissões apresentadas a seguir são resultado de abordagens que apresentam um alto grau de incerteza, seja em termos de fator de emissão, seja com relação à alocação para a cadeia. Essas emissões não são calculadas no Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (com exceção da Mudança de uso do solo para Mosaicos de agricultura e pastagem), e são estimadas e reportadas em separado pelo SEEG (2024a). Dessa forma, para a análise das emissões e remoções da cadeia pecuária, o mesmo procedimento adotado pelo SEEG (2024a) foi seguido com reporte em separado.

A.4.12.1. Emissões e Remoções associadas à Mudança do Uso Terra

Além da classe "Pastagem", o SEEG apresenta também emissões associadas a Mudança do Uso da Terra para a classe denominada Mosaico de agricultura e pastagem. A vegetação foi classificada desta forma quando não foi possível diferenciar se a área é de atividade agrícola e a cultura considerada, ou de pecuária (SEEG, 2024b). Nesses casos em que o uso posterior era "Mosaico de agricultura e Pastagem", foi estimada a área do mosaico correspondente à pastagem com base na proporção entre a área total de pastagem (LAPIG, 2025), e a área total destinada à agricultura no estado (IBGE, 2024b), conforme Tabela A.109.

Tabela A.109: **Proporção entre área de pastagem e área de agricultura no Rio Grande do Sul**

Ano	Área total de agricultura (ha)	Área total de pastagens (ha)	Proporção de pastagens na área total
2018	9.071.071	7.208.432	44,3%
2019	9.220.201	6.992.907	43,1%
2020	9.532.319	6.874.551	41,9%
2021	9.963.356	6.699.897	40,2%
2022	10.567.793	6.541.337	38,2%
2023	10.704.732	6.426.217	37,5%

Fonte: Atlas das Pastagens (LAPIG, 2025) e Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2024b)

Com base na porcentagem do mosaico correspondente às pastagens, foi realizada a alocação dessas emissões de mudança de uso da terra, previamente calculadas pelo SEEG (2024a), para a cadeia da pecuária, conforme Tabela A.110.

Tabela A.110: Emissões/remoções associadas à mudança de uso da terra para Mosaico de agricultura e pastagem (tCO₂e)

Classe Inicial	Classe Final	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Alterações de uso da terra		5.206.965	7.095.406	6.990.128	8.618.998	5.848.328	3.454.881
Campo alagado	Mosaico de agricultura e pastagem	16.257	16.109	19.016	12.892	9.999	8.399
Floresta plantada	Mosaico de agricultura e pastagem	16.128	21.981	23.524	28.642	22.886	10.212
Formação campestre	Mosaico de agricultura e pastagem	3.142.747	4.558.716	4.298.460	5.376.384	2.783.739	2.379.998
Restinga herbácea	Mosaico de agricultura e pastagem	9.874	17.728	10.947	16.798	12.521	1.298
Formação florestal	Mosaico de agricultura e pastagem	2.017.692	2.474.954	2.631.183	3.178.569	3.010.016	1.051.944
Restinga arborizada	Mosaico de agricultura e pastagem	3.438	4.720	5.848	4.544	7.896	2.659
Pastagem	Mosaico de agricultura e pastagem	828	1.198	1.150	1.169	1.272	371
Carbono orgânico no solo		860.520	1.184.759	1.158.961	1.435.692	792.170	600.994
Campo alagado	Mosaico de agricultura e pastagem	5.132	4.045	6.217	3.195	2.664	2.561
Formação campestre	Mosaico de agricultura e pastagem	758.749	1.060.715	1.030.754	1.279.832	653.734	554.465
Formação florestal	Mosaico de agricultura e pastagem	92.800	114.646	117.499	146.064	129.736	43.408
Restinga arborizada	Mosaico de agricultura e pastagem	608	860	915	837	807	323
Restinga herbácea	Mosaico de agricultura e pastagem	3.231	4.493	3.576	5.765	5.229	238
Remoção por mudança de uso da terra		0	0	0	0	0	0
Resíduos florestais		221.630	324.368	338.990	405.222	277.321	163.549
Campo alagado	Mosaico de agricultura e pastagem	1.072	1.406	1.720	3.034	1.352	703
Formação campestre	Mosaico de agricultura e pastagem	124.154	200.699	206.207	257.392	121.101	108.604
Formação florestal	Mosaico de agricultura e pastagem	95.694	121.163	130.234	143.775	153.977	53.961
Restinga arborizada	Mosaico de agricultura e pastagem	343	449	412	323	428	141
Restinga herbácea	Mosaico de agricultura e pastagem	368	650	416	698	464	140
Total Geral		6.289.115	8.604.533	8.488.079	10.459.912	6.917.819	4.219.425

Fonte: Elaboração própria com base em SEEG (2024a).

Em relação a esse dado, há incerteza devido à falta de identificação precisa da classe de vegetação na área mapeada. Não é possível afirmar com segurança se de fato ocorreu uma mudança no uso da terra, e se a alocação feita para a cadeia da pecuária condiz com a realidade.

A.4.12.2. Cobertura do solo

O SEEG (2024c) apresenta uma metodologia e fatores de emissão e remoção associados aos solos agrícolas a partir da cobertura do solo, dentre eles áreas de pastagens (baixo, médio e alto vigor). A condição de vigor das pastagens costuma estar associada ao tipo de manejo empregado, à espécie forrageira cultivada e ao grau de degradação presente (MapBiomass, 2025). Pastagens de alto vigor apresentam baixos níveis de degradação, mantendo, assim, boa capacidade produtiva e elevada taxa de rebrota do capim. Por outro lado, pastagens de médio e baixo vigor apresentam níveis crescentes de degradação, o que compromete sua capacidade de suporte, resultando em maior exposição do solo e no surgimento de plantas daninhas (Embrapa, 2017).

Esta metodologia não é utilizada pelo Quarto Inventário Nacional de emissões e remoções de GEE, por isso também apresentadas em separado pelo SEEG. A seguir, apresenta-se a equação, adaptada do SEEG (2024c), que representa o cálculo de emissão e remoções de carbono pelos solos agrícolas:

$$E_{NCI} = \sum(A * EF)$$

Onde:

E_{NCI} : emissão ou remoção não considerada no Inventário Nacional;

A: área (ha);

EF: fator de emissão (ton CO₂/ha)

Os fatores de emissão e remoção (EF) disponibilizados pelo SEEG (2024c) são apresentados na Tabela A.111:

Tabela A.111: Fatores de emissão e remoção por cobertura do solo

Vigor da Pastagem	Fator de emissão (tCO ₂ / ha)
Baixo Vigor	1,03
Médio Vigor	0,11
Alto Vigor	-2,24

Fonte: Atlas das Pastagens (LAPIG, 2025)

Com estes dados, foi possível estimar as emissões e remoções totais associadas às pastagens do Rio Grande do Sul (Tabela A.112).

Tabela A.112: Áreas de pastagem, em hectares, por nível de vigor e ano

Vigor da Pastagem	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Pastagens de baixo vigor	644.596	793.829	973.441	945.414	850.386	841.857
Pastagens de médio vigor	2.496.503	2.645.552	2.718.604	2.676.227	2.507.043	2.476.474
Pastagens de alto vigor	4.067.334	3.553.526	3.182.506	3.078.257	3.183.908	3.107.886

Fonte: Atlas das Pastagens (LAPIG, 2025)

Com estes dados, foi possível estimar as emissões e remoções totais associadas às pastagens do Rio Grande do Sul (Tabela A.113).

Tabela A.113: Emissões associadas às pastagens no Estado (tCO₂e)

Vigor da Pastagem	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Pastagens de baixo vigor	663.934	817.644	1.002.644	973.776	875.898	867.113
Pastagens de médio vigor	274.615	291.011	299.046	294.385	275.775	272.412
Pastagens de alto vigor	-9.110.827	-7.959.898	-7.128.815	-6.895.295	-7.131.953	-6.961.665
Total	-8.172.278	-6.851.243	-5.827.124	-5.627.134	-5.980.281	-5.822.140

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A metodologia e o fator de emissão considerados devem ser analisados com cautela pelos seguintes motivos. Primeiramente, o cálculo não leva em conta a transição histórica das pastagens, mas apenas a situação atual da área para estimar as emissões ou remoções de gases de efeito estufa (GEE). Como essa transição pode ter ocorrido há mais de 20 anos, período de referência geralmente adotado para a estabilização do carbono no solo após mudanças de uso, é possível que a área em questão já não esteja mais alterando significativamente seu estoque de carbono, ou seja, não haveria mais emissões ou remoções relevantes associadas a esse processo.

Além disso, o fator de emissão utilizado pelo SEEG (2024c), baseado em Maia et al. (2009), foi obtido através de um estudo de caso realizado nos estados de Rondônia e Mato Grosso, estados que possuem características muito diferentes do estado do Rio Grande do Sul. Logo, para aprimorar este fator, é essencial que estudos locais sejam realizados para desenvolver fatores específicos para o estado.

A.4.12.3. Remoções associadas à Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)

As remoções de CO₂ associadas aos sistemas de ILPF no Rio Grande do Sul foram extraídas da plataforma SEEG (2024a). Devido à falta de dados mais precisos sobre as práticas de ILPF no Rio Grande do Sul e à ausência de uma metodologia consolidada para alocar os benefícios da prática entre os setores envolvidos, parte das remoções foram atribuídas ao setor da pecuária, com base na proporção entre as áreas de pastagem e agricultura no estado, conforme demonstrado na Tabela A.109.

Em razão da maioria dos sistemas no Brasil serem de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e não Lavoura-Pecuária-Floresta (Embrapa, 2025), não foi considerada a área de florestas plantadas para o cálculo de atribuição.

Na Tabela A.114 são apresentados os valores das remoções de CO₂ atribuídas à pecuária, por ano.

Tabela A.114: Remoções de ILPF associadas às pastagens no Estado (tCO₂e)

Ano	Remoções associadas às pastagens
2018	-4.662.497
2019	-4.901.622
2020	-5.111.487
2021	-5.236.580
2022	-5.297.815
2023	-5.510.353

Fonte: Elaboração própria com base em SEEG (2024a).

Em relação à metodologia apresentada pelo SEEG (2024c) para a realização desse cálculo, considera-se necessário um aprimoramento, especialmente no que diz respeito ao fator de emissão adotado. O SEEG baseia-se no estudo de Oliveira et al. (2024) para a definição desse fator. No entanto, esse artigo avalia sistemas ILP e ILPF no bioma Cerrado, cujos resultados de remoção podem diferir significativamente daqueles observados no Rio Grande do Sul. Além disso, o estudo apresenta uma elevada variabilidade nos dados médios reportados. Nesse sentido, pesquisas adicionais locais podem contribuir significativamente para o setor, ao fornecer dados mais precisos e representativos sobre os benefícios da ILPF no estado.

A.4.12.4. Queima das áreas de Pastagem

As emissões associadas à queima das áreas de pastagem foram extraídas da plataforma SEEG (2024a). O SEEG baseou-se nos dados publicados pelo MapBiomass para este cálculo, considerando apenas as áreas queimadas de pastagem que permaneceram como pastagem no ano seguinte, por bioma e UF. Na Tabela A.115 são apresentados os resultados de emissões associadas à queima de áreas de pastagem, por ano.

Tabela A.115: Emissões de queimadas associadas às pastagens do Estado (tCO₂e)

Ano	Emissões de queima (tCO ₂ e)
2018	31
2019	81
2020	30
2021	34
2022	41
2023	39

Fonte: Elaboração própria com base em SEEG (2024a).

A.5. SOJA

A.5.1. Mudanças do Uso da Terra

As emissões de uso da terra incluem as Alterações do Uso da Terra, Carbono Orgânico no Solo e Resíduos Florestais. Para o cultivo da soja não houve remoção por Mudança de Uso da Terra nos anos em análise.

Para o cálculo, foram utilizados dados do SEEG (2024a), em consonância com a metodologia adotada pelo Inventário de Emissões e Remoções do Estado do Rio Grande do Sul. O SEEG utiliza a série temporal mais abrangente de mapas anuais de cobertura e uso da terra disponibilizada pelo MapBiomass (2025). Os procedimentos metodológicos e os fatores empregados são fundamentados no Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (Brasil, 2020a), que, por sua vez, se apoia nas orientações metodológicas do IPCC (2003; 2006d). Para obtenção das emissões, foi realizado um recorte para encontrar transições de áreas onde não havia registro de lavoura de soja para área de soja.

Na Tabela A.116 são apresentadas as emissões de Mudança de Uso da Terra associadas ao cultivo de soja.

Tabela A.116: Emissões associadas à mudança de uso da terra para soja (tCO₂e)

Classe Inicial	Classe Final	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Alterações de uso da terra		2.976.572	3.002.422	775.590	94.882	63.100	30.335
Campo alagado	Soja	84	152	61	13	1	-
Floresta plantada	Soja	172.925	205.858	20.801	17.750	11.885	19.798
Formação campestre	Soja	2.376.453	2.333.308	691.392	40.499	25.789	4.554
Formação florestal	Soja	363.569	406.486	54.242	32.304	21.637	1.355
Pastagem	Soja	63.241	55.219	8.756	4.174	3.781	4.628
Restinga arborizada	Soja	51	293	84	4	-	-
Restinga herbácea	Soja	249	1.106	254	138	7	-
Carbono orgânico no solo		492.204	491.816	137.597	13.662	8.969	1.401
Campo alagado	Soja	59	87	47	4	2	-
Formação campestre	Soja	474.943	472.052	134.884	11.854	7.810	1.343
Formação florestal	Soja	17.082	19.279	2.540	1.766	1.154	58
Restinga arborizada	Soja	12	63	19	1	-	-
Restinga herbácea	Soja	108	335	107	37	3	-
Remoção por mudança de uso da terra		0	0	0	0	0	0
Resíduos florestais		204.166	178.620	37.475	5.253	4.418	451
Campo alagado	Soja	2	5	2	-	-	-
Formação campestre	Soja	184.365	155.777	33.718	3.534	3.286	396
Formação florestal	Soja	19.783	22.756	3.737	1.715	1.132	55
Restinga arborizada	Soja	7	42	10	-	-	-
Restinga herbácea	Soja	9	40	8	4	-	-
Total Geral		3.672.942	3.672.858	950.662	113.797	76.487	32.187

Fonte: SEEG (2024a).

O SEEG também calcula as emissões relacionadas à Mudança do Uso da Terra para a categoria chamada de Mosaico de agricultura e pastagem. Essa classificação foi atribuída às áreas cuja distinção entre atividades agrícolas e pecuárias não foi possível. Tais situações são tratadas separadamente na seção A.5.12.3, em razão das incertezas associadas à metodologia adotada para a estimativa das emissões e alocação.

A.5.2. Calagem e fertilização no cultivo da soja

Com base na recomendação técnica da Embrapa sobre a aplicação de nitrogênio em áreas de cultivo de soja (Embrapa Clima Temperado, 2014; Martin et al., 2022), para cerca de 94% das áreas de plantio de soja do estado, considerou-se que não há aplicação de nitrogênio. Contudo, segundo informações obtidas da SEMA-RS, há aplicação de nitrogênio em plantio de soja em alternância com arroz em terras baixas, em razão da baixa disponibilidade de matéria orgânica. Neste caso, estimou-se a aplicação de 20 kg de N/ha, seguindo recomendação da SEMA-RS. A área de cultivo de soja em alternância com arroz foi obtida nos boletins publicados pelo IRGA (Tabela A.117).

Tabela A.117: Área de cultivo de soja no RS

Ano	Área de cultivo de soja (ha)
2018	297.453
2019	321.105
2020	341.188
2021	372.014
2022	426.212
2023	505.965

Fonte: Boletins de resultados (IRGA, 2025a)

As emissões diretas de óxido nitroso (N₂O) foram estimadas considerando todo o nitrogênio aplicado como proveniente de fertilizantes nitrogenados sintéticos. As emissões indiretas foram obtidas utilizando o dado de percentual de nitrogênio volatilizado (30%) e lixiviado (10%) do IPCC (2006b). Os fatores de emissão adotados do Inventário Nacional (Brasil, 2020c) para o cálculo estão expostos na Tabela A.118.

Tabela A.118: Fatores de emissão para os Fertilizantes aplicados na soja

Fertilizante	Fator de Emissão	Unidade
Fertilizante sintético Nitrogenado	0,0100	kg N ₂ O-N / kg de N aplicado
Fertilizante sintético Nitrogenado	0,0075	kg NO-N / kg de N lixiviado
Fertilizante sintético Nitrogenado	0,0100	kg NO-N / kg de N volatilizado

Fonte: Brasil (2020c)

Com relação ao consumo de calcário em plantações de soja, primeiramente foi obtido o consumo total de calcário agrícola no RS, de 2018 a 2023, em toneladas, através da Abracal, conforme apresentado na Tabela A.119 (Abracal, 2025).

Tabela A.119: Quantidade de Calcário Agrícola consumido no RS, por peso e ano

Ano	RS (t)
2018	3.648.800
2019	3.628.000
2020	3.258.500
2021	4.795.200
2022	4.137.600
2023	3.936.800

Fonte: Boletins de resultados (IRGA, 2025a)

O Inventário Nacional considera 100% do calcário aplicado no Brasil como dolomítico (Brasil, 2020c), e o SEEG estima que cerca de 10% do calcário agrícola utilizado no país é destinado às pastagens (SEEG, 2023). Essa premissa foi, então, aplicada também ao RS. Na falta de dados específicos da quantidade de calcário aplicado à soja, assumiu-se que o calcário não aplicado às pastagens seria aplicado equitativamente às áreas agricultáveis no RS (IBGE, 2024b), o que resultou numa média de 331 a 433 kg/hectare de calcário por ano para as áreas de plantio de soja.

Para o cálculo das emissões foi aplicado o fator de emissão utilizado pelo Inventário Nacional (Brasil, 2020c) – 0,13 tC/tonelada de calcário

Apresenta-se a seguir a estimativa de emissões diretas (decorrentes do consumo de calcário e fertilizantes nitrogenados sintéticos) e indiretas (decorrentes do nitrogênio lixiviado e volatilizado nos fertilizantes nitrogenados sintéticos) relacionadas a fertilização nos campos de soja entre 2018 e 2023 (Tabela A.120).

Tabela A.120: Emissões decorrentes do uso de fertilizantes no cultivo de soja

Emissão Calcário (tCO ₂ e)	Emissão N ₂ O Fertilizantes Sintéticos (tCO ₂ e)	N Lixiviado (tCO ₂ e)	N volatilizado (tCO ₂ e)	Emissões diretas (tCO ₂ e)	Emissões indiretas (tCO ₂ e)
985.179	24.774	5.574	2.477	1.009.953	8.051
986.415	26.743	6.017	2.674	1.013.158	8.692
879.356	28.416	6.394	2.842	907.773	9.235
1.261.044	30.983	6.971	3.098	1.292.028	10.070
1.072.912	35.497	7.987	3.550	1.108.409	11.537
1.047.931	42.140	9.481	4.214	1.090.071	13.695

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.5.3. Resíduos agrícolas

A permanência de resíduos culturais no solo após a colheita representa uma fonte de nitrogênio orgânico. Durante o processo de decomposição, esse nitrogênio é sujeito à mineralização, passando a formas inorgânicas que participam do ciclo biogeoquímico do nitrogênio. Esse processo pode resultar na emissão de óxido nitroso (N₂O), em decorrência das transformações microbianas de nitrificação e desnitrificação no solo (IPCC, 2006b).

Para os cálculos destas emissões, foram utilizados os dados de produção e área colhida obtidos do relatório de Produção Agrícola Municipal do IBGE (2024b), os quais são apresentados na Tabela A.121.

Tabela A.121: Quantidade produzida e área colhida de soja, no Rio grande do Sul, por ano

Ano	Quantidade produzida (Toneladas)	Área colhida (Hectares)
2018	17.538.725	5.651.100
2019	18.498.119	5.818.915
2020	11.307.760	5.983.169
2021	20.420.501	6.107.558
2022	9.370.339	6.215.638
2023	12.693.487	6.638.890

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2024b).

A metodologia utilizada para o cálculo foi descrita na seção A.3.2.5. A seguir são detalhados os parâmetros utilizados para estimar as emissões de N₂O decorrentes dos resíduos de cultura na cadeia da soja.

Tabela A.122: Resumo dos parâmetros utilizados para calcular FCR de resíduos de cultura na cadeia da soja

Parâmetros	Valor	Unidade de Medida
R _{AG}	1,977	Kg MS/kg MS
N _{AG}	0,009	Kg N/kgMS
N _{BG}	0,015	Kg N/kg MS
R _{BG-BIO}	0,11	Kg MS/kg MS
EF	0,01	kg N ₂ O-N (kg N)
DRY	0,87	kg matéria seca/ kg de peso fresco

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2024b).

A.5.4. Resíduos agrícolas

As emissões decorrentes do consumo de combustível durante o cultivo da soja foram estimadas considerando o dado de consumo anual total de diesel, fornecido pela FARSUL, baseados em dados do Painel Campo Futuro / CNA / CEPEA-ESALQ, com levantamento em 2023/2024. Não foi possível determinar o tipo de combustão (móvel ou estacionária), adotando-se então a premissa do cálculo por combustão móvel.

No cálculo das emissões provenientes do consumo de óleo diesel em fontes de combustão móvel, foram considerados os percentuais de biodiesel no diesel vigentes em cada ano, conforme Tabela A.123.

Tabela A.123: Média anual do percentual de biodiesel no diesel

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023
% Biodiesel no Diesel	9,67%	10,33%	11,33%	11,17%	10%	11,50%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Os seguintes combustíveis e fatores de emissão foram utilizados para calcular as emissões de GEE a partir de fontes de combustão móvel, conforme apresentado na Tabela A.124.

Tabela A.124: **Fatores de emissão – Combustão Móvel**

Combustível	Unidade	Fatores de Emissão (kgGEE/un.)			
		CO ₂ biogênico	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Óleo Diesel	Litros	-	2,603	0,0001	0,00014
Biodiesel	Litros	2,431	-	0,0003	0,00002

Fonte: Elaboração própria com base em GHG Protocol (FGV, 2025).

A seguir, são apresentados o consumo estimado de diesel e resultados de emissões associados ao consumo de diesel para o cultivo da soja (Tabela A.125).

Tabela A.125: **Emissões associadas ao consumo de diesel para o cultivo da soja**

Ano	Consumo de Diesel	Emissões Totais (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	197.991.033	473.090	46.527
2019	202.653.724	480.679	50.907
2020	207.954.146	487.784	57.294
2021	211.812.262	497.762	57.499
2022	221.524.396	527.380	53.853
2023	230.349.415	539.306	64.398

Fonte: Atlas das Pastagens (LAPIG, 2025) e Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2024b)

A.5.5. Transporte da soja para o processamento

As emissões do transporte da soja entre o local do cultivo e o local do processamento foram estimadas a partir da quilometragem média percorrida e carga transportada.

Na ausência de dados específicos para o Rio Grande do Sul, a quantidade anual de soja processada no estado foi estimada com base em informações do IBGE (2024b) e da ABIOVE (2025). Primeiramente, foi calculada a proporção entre a soja produzida no Brasil e a soja produzida no Rio Grande do Sul, conforme Tabela A.126.

Tabela A.126: **Proporção entre soja produzida no RS e soja produzida no Brasil**

Ano	Soja produzida no Brasil (t)	Soja produzida no Rio Grande do Sul (t)	Proporção
2018	117.912.450	17.538.725	14,9%
2019	114.316.829	18.498.119	16,2%
2020	121.820.949	11.307.760	9,3%
2021	134.799.179	20.420.501	15,1%
2022	121.290.103	9.370.339	7,7%
2023	152.144.238	12.693.487	8,3%

Fonte: Atlas das Pastagens (LAPIG, 2025) e Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2024b)

Após calculada a proporção da soja brasileira que é produzida no estado, aplicou-se esta proporção à soja processada pelo Brasil, dada pela ABIOVE (2025), para estimar a quantidade de soja processada no RS (Tabela A.127).

Tabela A.127: **Estimativa de Soja processada para produção de farelo e óleo, no RS**

Ano	Soja processada no Brasil (t)	Estimativa de Soja processada RS (t)
2018	43.556.353	6.478.730
2019	43.454.436	7.031.557
2020	46.845.474	4.348.327
2021	47.781.380	7.238.321
2022	50.931.803	3.934.767
2023	54.165.101	4.519.028

Fonte: Elaboração própria com base em ABIOVE (2025)

Já para a quilometragem média percorrida pela soja até o processamento, foi utilizado o dado da distância entre o ponto de armazenagem de soja ou cooperativa até a empresa (129,4 km), fornecido de forma sigilosa por uma empresa do setor de biodiesel. Este dado foi utilizado em razão da relevância estimada de empresas de biodiesel no processamento da soja no RS.

A partir da quilometragem média percorrida e da quantidade de soja transportada para processamento de soja, estimou-se as emissões decorrentes do transporte rodoviário da soja, conforme Tabela A.128.

Tabela A.128: **Emissões decorrentes do transporte da soja para processamento**

Ano	Emissões Totais (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	86.660	8.523
2019	91.499	9.690
2020	55.229	6.487
2021	94.211	10.883
2022	50.332	5.140
2023	52.864	6.312

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.5.6. Processamento da soja para produção de farelo, óleo e biodiesel

Esta etapa da cadeia contemplou o processamento da soja para produzir farelo, óleo de soja e biodiesel. A quantidade de soja processada foi estimada com base em informações do IBGE (2024b) e da ABIOVE (2025) (ver seção A.5.5). Para o cálculo das emissões associadas a essa etapa, foram utilizados dados públicos das empresas de biodiesel Olfar (2024) e Be8 (2024; 2023; 2022) sobre esmagamento de soja e emissões de GEE, a fim de se obter um fator de emissão por tonelada de soja esmagada e processada (por média ponderada). Para a construção do indicador, foram consideradas as emissões diretas do processo (escopo 1) e as emissões indiretas decorrentes da aquisição de energia elétrica (escopo 2), conforme metodologia GHG Protocol para inventários corporativos.

É provável que as emissões dessa etapa estejam superestimadas, já que as empresas de biodiesel consideradas também realizam a produção do combustível após o esmagamento. No entanto, o mesmo fator de emissão foi aplicado tanto às empresas de biodiesel quanto às esmagadoras que não produzem biodiesel, devido à indisponibilidade de dados específicos destas últimas.

Na Tabela A.129 são apresentadas as emissões associadas ao processamento de soja para a produção de farelo, óleo e biodiesel no estado do RS.

Tabela A.129: Emissões decorrentes do processamento de soja, por escopo, por ano

Ano	Emissão Escopo 1 (tCO ₂ e)	Emissão Escopo 2 (tCO ₂ e)	Emissão total
2018	52.663	19.427	72.090
2019	57.157	21.085	78.242
2020	35.346	13.039	48.385
2021	58.838	21.705	80.543
2022	31.984	11.799	43.783
2023	36.734	13.551	50.284

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.5.7. Transporte do farelo para a produção de ração

As emissões associadas ao transporte do farelo destinado à produção de ração foram estimadas com base na carga transportada e na distância média percorrida. Na ausência de dados específicos, presumiu-se que todo o farelo destinado ao mercado interno seria utilizado para a fabricação de ração. Para a estimativa da quantidade de farelo que iria para o mercado interno do Rio Grande do Sul, utilizou-se o dado da ABIOVE de farelo vendido no mercado interno brasileiro e multiplicou-se pelo percentual da Tabela A. 126 (proporção entre soja produzida no RS e soja produzida no Brasil). A Tabela A.130 apresenta a estimativa de farelo destinado ao mercado interno do estado.

Tabela A.130: Estimativa de Farelo destinado ao mercado interno do RS

Ano	Farelo destinado ao mercado interno - Brasil (t)	Farelo destinado ao mercado interno no RS - (t)
2018	16.741.378	2.490.173
2019	17.246.447	2.790.725
2020	18.952.476	1.759.222
2021	19.313.527	2.925.774
2022	18.661.135	1.441.677
2023	20.511.425	1.711.281

Fonte: Elaboração própria com base em ABIOVE (2025)

A quilometragem média foi estimada com base em dados disponíveis no inventário de ciclo de vida do farelo de soja (Market for soybean meal/ Brazil - BR) do banco de dados da Ecoinvent (v.3.11), que dispõe de informações sobre a quilometragem média percorrida pelo farelo e o modal de transporte no Brasil. Diante destas informações, estimou-se as emissões decorrentes do transporte de farelo até a produtora de ração, conforme Tabela A.131.

Tabela A.131: Emissões decorrentes do transporte do farelo para a produtora de ração

Ano	Emissões Totais (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	2.676	263
2019	2.918	309
2020	1.795	211
2021	3.059	353
2022	1.482	151
2023	1.608	192

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.5.8. Produção de ração

Com relação à quantidade de ração produzida, foram utilizados os dados de farelo destinado ao mercado interno (ver Tabela A. 130). As emissões estimadas para essa etapa da cadeia consideraram o consumo industrial de energia elétrica e térmica na fabricação da ração derivada da soja.

Para os dados de entrada (quantidade de energia elétrica e térmica consumidas), foi utilizada a base de dados da Ecoinvent 3.11 (Soybean feed Production/Rest of the World – RoW), onde foi possível obter o consumo industrial médio de energia elétrica (em KWh) e térmica (em MJ). Para o cálculo, foram consideradas as metodologias e fatores de emissões de GEE disponibilizados no programa brasileiro GHG Protocol (v2025.0.1) (FGV, 2025).

Na Tabela A.132 estão apresentados os resultados das estimativas de emissões da fabricação de ração.

Tabela A.132: Emissões da produção de ração proveniente da soja

Ração produzida (t)	Emissões Totais (tCO ₂ e)
2.490.173	17.968
2.790.725	20.137
1.759.222	12.693
2.925.774	21.115
1.441.677	10.402
1.711.281	12.347

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Este resultado provavelmente está superestimado, pois o consumo de energia considerado inclui o processo de fabricação da ração a partir do esmagamento da soja – etapa já contemplada no cálculo das emissões da produção de farelo. No entanto, diante da ausência de dados específicos sobre a produção de ração a partir do farelo, optou-se por utilizar as informações disponíveis.

A.5.9. Transporte da ração para o cliente

As emissões relativas ao transporte da ração para os clientes foram estimadas com base na carga movimentada e na distância média percorrida. Para a estimativa da carga movimentada de ração referente à soja, foram utilizadas as quantidades apresentadas na tabela A.130.

As estimativas de quilometragem média percorrida pela ração com base em soja até os clientes foram obtidas a partir dos dados do inventário de ciclo de vida da ração, disponível no banco de dados Ecoinvent (v.3.11), no processo "Market for soybean, feed/Global – GLO". Esse inventário apresenta informações sobre os modais de transporte utilizados e as distâncias médias percorridas. Com base nesses dados, foram calculadas as emissões associadas ao transporte da ração, conforme apresentado na Tabela A.133.

Tabela A.133: Emissões decorrentes do transporte da ração para os clientes

Ano	Emissões Totais (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	29.181	2.323
2019	31.983	2.727
2020	19.773	1.861
2021	33.537	3.119
2022	16.297	1.335
2023	18.017	1.695

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.5.10. Transporte do Biodiesel

As emissões do transporte do biodiesel entre as produtoras de biodiesel e os clientes foram estimadas a partir da quilometragem média percorrida e carga transportada.

A carga transportada foi estimada a partir dos dados de produção anual do biodiesel no estado, obtidos no Painel Dinâmico da Produção de Biodiesel da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2025b). Já a quilometragem média rodada dentro do estado, por modal, foi fornecida por uma produtora de biodiesel do estado.

A partir destas informações, estimou-se as emissões de transporte de biodiesel no estado, conforme Tabela A.134.

Tabela A.134: Emissões decorrentes do transporte da soja para processamento

Ano	Emissões Totais (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	18.785,14	1.807,18
2019	19.860,97	2.056,29
2020	21.630,72	2.482,42
2021	22.942,51	2.590,84
2022	18.547,34	1.850,78
2023	18.921,47	2.203,22

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.5.11. Transporte da soja e derivados (importados e exportados)

Para calcular as emissões associadas ao transporte da soja e de seus derivados, tanto na importação quanto na exportação, foram considerados o peso total da carga transportada por produto, a distância média percorrida, o modal de transporte utilizado e a composição do combustível empregado.

Os dados de produtos importados, por país de origem e ano, são disponibilizados pela Secretaria de Comércio Exterior, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (Brasil, 2025d). Como não há informações diretas dos adquirentes dos produtos, adotou-se o domicílio fiscal dos declarantes das importações como referência para os municípios importadores (destino das mercadorias).

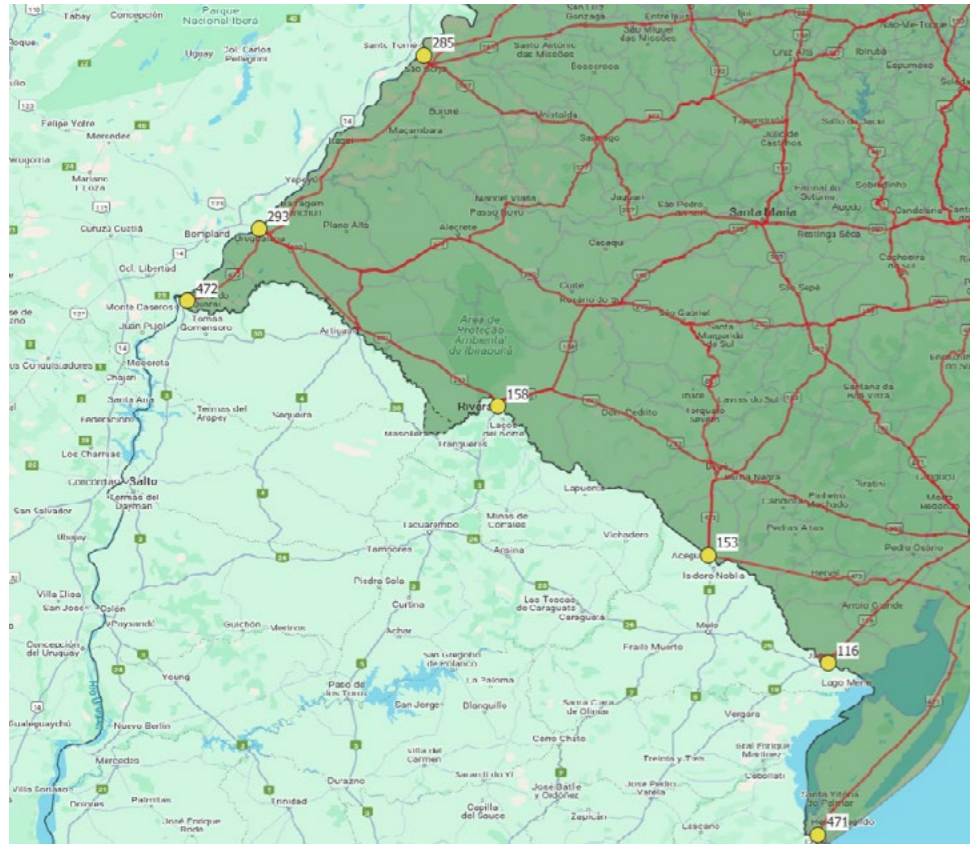
Os produtos exportados (em quilograma líquido), por domicílio fiscal do declarante e por ano, foram obtidos no sistema Comex Stat, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (Brasil, 2025e). As informações sobre o local de origem efetiva dos produtos exportados não estavam disponíveis, assim, como para as importações, adotou-se o domicílio fiscal do declarante como referência para o município de origem. Vale destacar que esse domicílio pode não corresponder ao local de produção dos bens comercializados (Brasil, 2025e).

O cálculo considera apenas os dados de comercialização com o exterior, uma vez que não foi possível obter informações sobre a movimentação interna da soja e de seus derivados, nem sobre as transações entre estados brasileiros. Dessa forma, os resultados referentes ao transporte desses produtos estão subdimensionados, refletindo apenas as importações e exportações realizadas além das fronteiras nacionais. No caso das importações e exportações de biodiesel, não há desagregação por matéria-prima. Para possibilitar uma melhor alocação das emissões à cadeia da soja, foi aplicada a proporção média de biodiesel derivado de soja produzida no Brasil, estimada em 71,9% (Embrapa, 2012).

Para a soja e derivados importados do Uruguai e Paraguai, considerou-se transporte rodoviário entrando pela divisa de ambos os países com o Rio Grande do Sul (RS). Para a definição dos pontos de entrada na fronteira do RS, foram sobrepostas as camadas de Mapa Rodoviário do Brasil (Google Maps - Google, 2025), malha municipal do Rio Grande do Sul, com opacidade de 30% (IBGE, 2024c) e malha rodoviária federal do Brasil (DNIT, 2023). Em seguida, foram estabelecidos 7 pontos nas entradas federais do estado do RS com a Argentina e o Uruguai, considerando as entradas mais próximas aos pontos de destino. Tendo os pontos de entrada do estado, foi calculada a distância entre os municípios importadores e cada um dos pontos de entrada do estado (origem), adotando como rota aquela de menor distância, utilizando a função de rotas do OSRM (Figura A.6).

Para a soja e produtos derivados importados e exportados de outros países, considerou-se a distância entre o porto de Rio Grande até o município declarado.

Figura A.6: Entradas federais do RS, partindo da Argentina e Uruguai



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Já para a composição do combustível consumido, considerou-se a média anual de biodiesel incorporado ao diesel comercial em cada ano do período analisado, conforme os dados apresentados na Tabela A. 94. Com base nos dados obtidos, foram aplicados os fatores de emissão para transporte de carga, de acordo com o a ferramenta do GHG Protocol v2025.0.1 (FGV, 2025) e, por fim, estimadas as emissões totais do transporte de soja, farelo de soja, óleo de soja e biodiesel, conforme disposto nas Tabelas A.135 e A.136.

Tabela A.135: Emissões associadas ao transporte de soja e derivados exportados (tCO₂e)

Ano	Soja		Farelo de Soja		Óleo de Soja		Biodiesel	
	Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)	Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)	Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)	Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	345.723	34.001	39.250	3.860	2.009	198	-	-
2019	354.937	37.590	49.976	5.293	1.406	149	-	-
2020	289.534	34.008	43.909	5.157	2.035	239	-	-
2021	408.946	47.239	47.269	5.460	3.451	399	260	30
2022	204.227	20.854	62.454	6.377	9.528	973	1.100	112
2023	300.554	35.889	85.795	10.245	6.230	744	1.102	132

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela A.136: Emissões associadas ao transporte de soja e derivados importados (tCO₂e)

Ano	Soja		Farelo de Soja		Óleo de Soja		Biodiesel	
	Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)	Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)	Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)	Emissões (tCO ₂ e)	Emissões Biogênicas (tCO ₂ e)
2018	3.591	22	591	4	-	-	-	-
2019	18.570	120	736	5	-	-	-	-
2020	48.698	350	964	7	839	6	-	-
2021	17.482	124	766	5	1.405	10	-	-
2022	17.681	111	946	6	716	4	2	0,01
2023	12.240	90	392	3	4.931	36	7	0,05

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A.5.12. Abordagens em construção

As estimativas de emissões apresentadas nesta seção resultam de metodologias que possuem elevado nível de incerteza, tanto em relação aos fatores de emissão quanto à sua atribuição nas cadeias produtivas. Os resultados aqui apresentados são tratados de forma distinta, pois não integram o Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (com exceção da Mudança de uso do solo para Mosaicos de agricultura e pastagem), sendo calculadas e divulgadas separadamente pelo SEEG (2024a).

A.5.12.1. Remoções associadas à integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)

A soja está entre as principais culturas utilizadas nos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Rio Grande do Sul. Para calcular as remoções de CO₂ decorrentes do grão associadas a ILPF foram utilizados os valores disponíveis na plataforma SEEG (2024a).

As remoções de ILPF estimadas pelo SEEG para o RS foram atribuídas à soja através da proporção relativa da área de cultivo de soja em relação ao total de uso agropecuário da terra no estado (considerando pastagens e lavouras). A contribuição das florestas foi desconsiderada pois a maior parte dos sistemas de integração no RS é ILP, sem o componente florestal (Embrapa, 2025).

Os resultados encontrados para as remoções de soja em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta estão apresentados na Tabela A.137.

Tabela A.137: Remoções de ILPF associadas ao cultivo de soja no Estado (tCO₂e)

Ano	Remoções associadas a soja em sistemas ILPF
2018	-3.692.701
2019	-4.095.977
2020	-4.458.527
2021	-4.773.662
2022	-5.173.361
2023	-5.695.503

Fonte: Boletins de resultados (IRGA, 2025a)

O método descrito acima foi adotado em virtude (I) da ausência de dados precisos de utilização de soja em sistemas ILPF no estado e (II) da falta de metodologias abrangentes e consolidadas para o cálculo de remoções. Quanto à metodologia apresentada pelo SEEG (2024c) para a realização desse cálculo, observa-se a necessidade de aprimoramento, sobretudo no que se refere ao fator de emissão adotado.

Esse fator tem como base o estudo de Oliveira (2024), que avaliou sistemas ILP e ILPF no bioma Cerrado. No entanto, por se tratar de um bioma distinto dos presentes no Rio Grande do Sul – majoritariamente Pampa e Mata Atlântica –, os resultados podem divergir consideravelmente daqueles efetivamente aplicáveis ao contexto local. Além disso, o estudo de referência apresenta elevada variabilidade nos dados médios reportados, o que adiciona uma camada de incerteza à estimativa atual. Diante disso, a realização de pesquisas locais pode contribuir de forma significativa para o setor, ao fornecer dados mais precisos e representativos sobre os impactos da ILPF nos biomas gaúchos.

A.5.12.2. Sistema de Plantio

Na categoria associada aos solos manejados, o SEEG calcula as emissões e remoções de CO₂ decorrentes da redução e aumento do estoque de carbono (C) no solo, respectivamente, decorrente do sistema de plantio nas áreas de lavoura. Conforme cálculo realizado pelo SEEG existe uma estimativa de remoção de carbono quando são utilizados o Sistema de Plantio Direto (SPD) e o Plantio Direto (PD) e uma emissão no caso de Plantio Convencional (PC).

Entre o período de 2018 a 2023, estima-se que mais de 95% das áreas de plantio de soja utilizaram do plantio direto ou sistema de plantio direto como técnica de cultivo no estado do Rio Grande do Sul. Em razão da pouca relevância do Plantio Convencional para o plantio da soja, no estado, e da incerteza do dado, a estimativa de emissões e remoções associadas à mudança de estoque de Carbono no solo foi realizada apenas para o plantio direto ou sistema de plantio direto.

Assim como no caso do ILPF, as remoções foram estimadas com base na proporção relativa da área cultivada com soja em relação ao uso total da terra para fins agropecuários no estado, considerando tanto pastagens quanto lavouras. A estimativa de remoções associadas ao cultivo da soja em SPD e PD são apresentadas na Tabela A.138

Tabela A.138: Remoções de PD e SPD associadas ao cultivo de soja no Estado (tCO₂e)

Ano	Remoções PD Total SEEG (tCO ₂ e)	Remoções SPD Total SEEG (tCO ₂ e)	Alocação - soja	Remoções PD Alocação soja (tCO ₂ e)	Remoções SPD Alocação soja (tCO ₂ e)
2018	-2.135.151	-2.224.116	35,1%	-748.779	-779.979
2019	-2.186.039	-2.277.124	36,0%	-787.893	-820.722
2020	-2.238.963	-2.332.253	36,5%	-818.294	-852.390
2021	-2.312.109	-2.408.447	36,7%	-847.463	-882.773
2022	-2.421.341	-2.522.231	37,3%	-904.004	-941.671
2023	-2.552.076	-2.658.413	38,8%	-989.510	-1.030.740

Fonte: Elaboração própria com base em SEEG (2024a)

Com relação à metodologia apresentada pelo SEEG (2024c) para a realização destas estimativas, considera-se que mais estudos são necessários, principalmente para a criação de um fator de emissão e remoção a partir de dados específicos do RS. Além disso, estudos indicam que o acúmulo de carbono no solo tende a atingir um ponto de equilíbrio ao longo do tempo (Cerri et al., 2007). Dessa forma, o fator de emissão ou remoção não deve ser aplicado à totalidade da área de plantio, mas apenas àquelas em que a transição para o novo sistema ainda influencia significativamente o balanço de carbono.

A.5.12.3. Emissões e Remoções associadas à Mudança do Uso da Terra

Além das emissões diretamente relacionadas à soja, o SEEG também calcula as emissões relacionadas à Mudança do Uso da Terra para a categoria chamada de Mosaico de agricultura e pastagem. Essa classificação foi atribuída às áreas cuja distinção entre atividades agrícolas e pecuárias não foi possível (SEEG, 2024b).

Nos casos em que o uso posterior do solo era "Mosaico de agricultura e Pastagem", foi estimada a área do mosaico correspondente à soja com base na proporção entre a área total de soja (IBGE, 2024b), a área total de pastagem (LAPIG, 2025) e a área total destinada à agricultura no estado (IBGE, 2024b), conforme a Tabela A.139

Tabela A.139: Proporção entre área de soja e área de agricultura e pastagem no Rio Grande do Sul

Ano	Área total de soja (ha)	Área total de agricultura (ha)	Área total de pastagens (ha)	Proporção de soja na área total
2018	5.709.084	9.071.071	7.208.432	35,1%
2019	5.843.533	9.220.201	6.992.907	36,0%
2020	5.996.371	9.532.319	6.874.551	36,5%
2021	6.107.620	9.963.356	6.699.897	36,7%
2022	6.387.670	10.567.793	6.541.337	37,3%
2023	6.642.140	10.704.732	6.426.217	38,8%

Fonte: Atlas das Pastagens (LAPIG, 2025) e Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2024b)

O percentual do mosaico correspondente à soja foi multiplicado pelas emissões totais de mudança de uso da terra decorrente de conversões de áreas para mosaico de agricultura e pastagem estimadas pelo SEEG (2024a). Os resultados são apresentados na Tabela A.140.

A incerteza associada a esse dado decorre da ausência de uma identificação precisa da classe de vegetação na área mapeada. Não há garantias suficientes para afirmar que ocorreu, de fato, uma mudança no uso da terra, tampouco se a alocação realizada para a cadeia da soja corresponde fielmente à realidade.

Tabela A.140: Emissões/remoções associadas à mudança de uso da terra para soja em Mosaico de agricultura e pastagem (tCO₂e)

Classe Inicial	Classe Final	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Alterações de uso da terra		4.123.920	5.929.186	6.097.183	7.857.070	5.710.941	3.570.966
Campo alagado	Mosaico de agricultura e pastagem	12.876	13.461	16.587	11.752	9.764	8.682
Floresta plantada	Mosaico de agricultura e pastagem	12.774	18.368	20.519	26.110	22.348	10.555
Formação campestre	Mosaico de agricultura e pastagem	2.489.058	3.809.433	3.749.359	4.901.106	2.718.345	2.459.967
Restinga herbácea	Mosaico de agricultura e pastagem	7.820	14.814	9.549	15.313	12.226	1.341
Formação florestal	Mosaico de agricultura e pastagem	1.598.014	2.068.164	2.295.066	2.897.580	2.939.306	1.087.289
Restinga arborizada	Mosaico de agricultura e pastagem	2.723	3.944	5.101	4.143	7.711	2.748
Pastagem	Mosaico de agricultura e pastagem	656	1.001	1.003	1.066	1.242	383
Carbono orgânico no solo		681.532	990.028	1.010.911	1.308.776	773.560	621.188
Campo alagado	Mosaico de agricultura e pastagem	4.064	3.380	5.422	2.913	2.601	2.647
Formação campestre	Mosaico de agricultura e pastagem	600.930	886.373	899.082	1.166.694	638.377	573.095
Formação florestal	Mosaico de agricultura e pastagem	73.498	95.802	102.489	133.151	126.689	44.867
Restinga arborizada	Mosaico de agricultura e pastagem	482	719	798	763	788	333
Restinga herbácea	Mosaico de agricultura e pastagem	2.559	3.755	3.119	5.255	5.106	246
Remoção por mudança de uso da terra		0	0	0	0	0	0
Resíduos florestais		175.531	271.054	295.686	369.400	270.806	169.045
Campo alagado	Mosaico de agricultura e pastagem	849	1.175	1.500	2.766	1.320	726
Formação campestre	Mosaico de agricultura e pastagem	98.330	167.712	179.866	234.639	118.256	112.253
Formação florestal	Mosaico de agricultura e pastagem	75.789	101.249	113.598	131.065	150.359	55.774
Restinga arborizada	Mosaico de agricultura e pastagem	271	376	359	294	418	146
Restinga herbácea	Mosaico de agricultura e pastagem	291	543	363	636	453	145
Total Geral		4.980.984	7.190.268	7.403.781	9.535.246	6.755.308	4.361.199

Fonte: Elaboração própria com base em SEEG (2024a).