

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL E URBANO**

Mariana Medeiros Pereira Leite Pedrosa Nahas

**CENÁRIOS DE DESACELERAÇÃO DA INDÚSTRIA EXTRATIVA MINERAL E
SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS: implicações para o desenvolvimento regional e
produtivo de Minas Gerais e de suas regiões minerárias**

Belo Horizonte,
2021

Mariana Medeiros Pereira Leite Pedrosa Nahas

CENÁRIOS DE DESACELERAÇÃO DA INDÚSTRIA EXTRATIVA MINERAL E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS: implicações para o desenvolvimento regional e produtivo de Minas Gerais e de suas regiões minerárias

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Edson Paulo Domingues

Coorientadora: Profa. Dra. Aline Souza Magalhães

Belo Horizonte,
2021

MARIANA MEDEIROS PEREIRA LEITE PEDROSA NAHAS: Implicações para o desenvolvimento regional e produtivo de Minas Gerais e de suas regiões minerárias

Ficha catalográfica

N153c
2021 Nahas, Mariana Medeiros Pereira Leite Pedrosa.
Cenários de desaceleração da indústria extrativa mineral e seus impactos econômicos [manuscrito]: implicações para o desenvolvimento regional e produtivo de Minas Gerais e de suas regiões minerárias / Mariana Medeiros Pereira Leite Pedrosa Nahas. – 2021.
266 f.: il., gráfs. e tabs.

Orientador: Edson Paulo Domingues.
Coorientadora: Aline Souza Magalhães.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.
Inclui bibliografia (235-248).

1. Câmbio – Teses. 2. Desenvolvimento econômico – Teses. 3. Economia – Teses. I. Domingues, Edson P. II. Magalhães, Aline Souza. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título.

CDD: 330

Elaborado por Rosilene Santos CRB-6/2527
Biblioteca da FACE/UFMG. –RSS034/2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIANA MEDEIROS PEREIRA LEITE PEDROSA NAHAS

**"CENÁRIOS DE DESACELERAÇÃO DA INDÚSTRIA EXTRATIVA MINERAL E SEUS IMPACTOS
ECONÔMICOS:
IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL E PRODUTIVO DE MINAS GERAIS E DE
SUAS REGIÕES MINERÁRIAS"**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia, da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, para obtenção do título de Doutora em Economia, área de concentração em Economia Regional, Urbana e Desenvolvimento.

Aprovada em Belo Horizonte, 30 de abril de 2021.

BANCA EXAMINADORA - participações por videoconferência

Prof. Édson Paulo Domingues (Orientador) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Profa. Aline Souza Magalhães (Coorientadora) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Ricardo Machado Ruiz (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Ronaldo Nazaré (Cedeplar/FACE/UFMG)

Profa. Flaviane Souza Santiago (UFJF)

Prof. Luiz Carlos de Santana Ribeiro (UFS)



Documento assinado eletronicamente por **Edson Paulo Domingues, Professor do Magistério Superior**, em 03/05/2021, às 14:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Carlos de Santana Ribeiro, Usuário Externo**, em 03/05/2021, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Aline Souza Magalhaes, Professora do Magistério Superior**, em 03/05/2021, às 14:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Machado Ruiz, Professor do Magistério Superior**, em 04/05/2021, às 09:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flaviane Souza Santiago, Usuário Externo**, em 04/05/2021, às 15:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ronaldo Nazaré, Professor do Magistério Superior**, em 06/05/2021, às 16:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcia Siqueira Rapini, Professora do Magistério Superior**, em 06/05/2021, às 17:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 0692848 e o código CRC 3EE53B93.

RESUMO

Minas Gerais está associada com a atividade minerária desde sua formação histórica, e, em vários de seus territórios, a mineração é elemento fundamental da geração de renda e emprego. Entretanto, ao invés de seguir uma trajetória de desenvolvimento local para além do enclave mineral, a maior parte dessas localidades apresenta acentuada dependência econômica em relação à indústria extrativa mineral do minério de ferro. Essa questão se torna mais premente com o cenário de crise do setor, com os desastres ambientais de Mariana e Brumadinho, a obrigação do descomissionamento de barragens a montante, disseminadas pelo estado, e a concorrência da produção férrea paraense. Nesse sentido, esta tese utiliza um modelo inter-regional de equilíbrio geral computável para avaliar os impactos regionais da desaceleração da mineração de ferro em Minas Gerais e identificar os possíveis caminhos para diversificação produtiva. Para a modelagem do setor extrativo do ferro, foi empreendido grande esforço de pesquisa coletando informações oficiais, provenientes dos documentos públicos associados ao licenciamento ambiental, e relatórios produtivos das principais companhias do setor, visando estimar a produção de minério por microrregião mineira. No primeiro cenário simulado, foram implementados choques de produção mimetizando o quadro prospectivo de diminuição da atividade minerária em Minas Gerais, entre os anos de 2016 e 2050. A análise evidenciou a inversão do eixo produtivo do ferro rumo ao estado do Pará, em detrimento de Minas Gerais, e profunda retração econômica local nas regiões mineradas, com exceção de Conceição do Mato Dentro. Os efeitos econômicos adversos advindos da retração mineral são suavizados, no âmbito estadual, em função do crescimento oportunista de outros setores produtivos, contudo, a participação no PIB nacional do Estado de Minas Gerais passaria de 9,25% do PIB nacional, em 2016, para 8,83% em 2050. Há ainda uma avaliação preliminar de setores com potencial para reconversão produtiva microrregional. Esta simulação evidenciou, em cada microrregião, as atividades produtivas com maior potencial de geração de renda e emprego, destacando-se setores industriais, serviços complexos, além da agropecuária e do turismo.

Palavras-chave: Mineração, Economia Regional, Reconversão Produtiva, Desenvolvimento Sustentável, Economia de Minas Gerais, Equilíbrio Geral Computável

ABSTRACT

Minas Gerais has been related to mining activity since its historic formation. Mining is vital to income and employ generation in several of its territories. Although, in spite of following a local development path beyond mining enclave, most of these localities presents acute economic dependence on iron ore extractive industry. This issue becomes more pressing with the sector crisis scenario, marked by Mariana and Brumadinho' environmental disasters, the obligation of upstream tailings dams decommissioning, spread across the state, and the competition from Pará production. For this reason, this thesis employs an interregional computable general equilibrium model to assess the regional impacts from iron ore mining slowdown in Minas Gerais and to identify possible pathways to productive diversification. To modeling the iron ore extraction sector, a research effort was made collecting information from official sources and main companies' production reports, aiming to estimate the production of ore by Minas Gerais regions. In the first simulated scenario, production shocks were implemented mimicking the prospective trend of iron ore mining sector diminution in Minas Gerais, between 2016 and 2050. The analysis showed inversion of the productive axis toward Pará's state, at the expense of Minas Gerais, and deep economic shrinking in mineral provinces, except for Conceição do Mato Dentro, that reduces the state participation in Brazilian GDP from 9,25% in 2016 to 8,83% in 2050. In the second scenario, sectorial productivity shocks were simulated with the aim of evaluate which sectors could receive incentives in order to mitigating the negative impacts of the shutting down of Minas Gerais mining sector. This simulation suggested, in each region, the productive activities with the most potential of generating employ and income, emphasizing industrial sectors, complex services, besides agriculture, livestock and tourism.

Keywords: Mining, Regional Economics, Productive Reconversion, Sustainable Development, Minas Gerais Economy, Computable General Equilibrium

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Dimensões de sustentabilidade na recuperação de territórios minerados	32
Figura 2. Objetivos estratégicos Plano Nacional da Mineração	58
Figura 3. Vetores Estratégicos para a “Tropicalização” da Transição Justa, Minas Gerais e Alemanha	68
Figura 4. Regionalização adotada para o Brasil	85
Figura 5. Principais matrizes do modelo	89
Figura 6. Estrutura Tecnológica da Produção	92
Figura 7. Mecanismo de composição da demanda	94
Figura 8. Resumo do procedimento de regionalização	99
Figura 9. Base de dados nacional do modelo TERM	100
Figura 10. Estrutura tabela insumo-produto regional	109
Figura 11. Microrregião de Conceição do Mato Dentro e polígonos minerais de ferro	114
Figura 12. Principais empresas da cadeia mineral do ferro em Conceição do Mato Dentro	117
Figura 13. Microrregião de Belo Horizonte e polígonos minerais de ferro	123
Figura 14. Principais empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Belo Horizonte	125
Figura 15. Microrregião de Itabira e polígonos minerais de ferro	135
Figura 16. Principais empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Itabira	140
Figura 17. Microrregião de Itaguara e polígonos minerais de ferro	144
Figura 18. Principais empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Itaguara	147
Figura 19. Microrregião de Ouro Preto e polígonos minerais de ferro	151
Figura 20. Empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Ouro Preto	155
Figura 21. Microrregião de Conselheiro Lafaiete e polígonos minerais	158
Figura 22. Principais empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Conselheiro Lafaiete	160
Figura 23. Barragens alteadas a montante ou construídas por método desconhecido, Minas Gerais ..	174
Figura 24. Distribuição da produção de minério de ferro, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, 2016 a 2050	201

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1. Fontes pesquisadas e objeções	177
Fluxograma 2. Síntese eventos e cenários de produção de minério de ferro no Brasil, 2016 a 2050 ..	189

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Taxa de crescimento anual do PIB do mundo, da China e dos países de renda média-alta .	47
Gráfico 2. Produção mundial de minério de ferro, 2000 a 2017	48
Gráfico 3. Preço médio mensal do minério de ferro	49
Gráfico 4. Distribuição da CFEM antes e depois da Lei nº 13.540.....	61
Gráfico 5. Arrecadação de CFEM no Brasil, 2004 a 2019.....	62
Gráfico 6. Participação de Minas Gerais e do Para na Arrecadação de CFEM no Brasil, 2004 a 2019	63
Gráfico 7. Setores com maior multiplicador de produção (%), Conceição do Mato Dentro	121
Gráfico 8. Setores com maior multiplicador de produção (%), Belo Horizonte	133
Gráfico 9. Setores com maior multiplicador de produção (%), Itabira	143
Gráfico 10. Setores com maior multiplicador de produção (%), Itaguara.....	149
Gráfico 11. Setores com maior multiplicador de produção (%), Ouro Preto	157
Gráfico 12. Setores com maior multiplicador de produção (%), Conselheiro Lafaiete	163
Gráfico 13. Variações na produção anual de minério de ferro (milhões de toneladas), 2016 a 2029 .	190
Gráfico 14. PIB real das microrregiões de Minas Gerais e Parauapebas, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, desvio acumulado (%) em relação ao cenário base, 2016 a 2050	197
Gráfico 15. Participação (%) de cada região no PIB estadual, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, 2016 a 2050	198
Gráfico 16. Produção de minério de ferro das microrregiões de Minas Gerais e Parauapebas, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, desvio acumulado (%) em relação ao cenário base, 2016 a 2050.....	199
Gráfico 17. Participação regional (%) na produção de minério de ferro, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, 2016 a 2050	200
Gráfico 18. Setores ganhadores e perdedores, micro de Conceição do Mato Dentro, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050.....	202
Gráfico 19. Setores ganhadores e perdedores, micro de Belo Horizonte, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050.....	204
Gráfico 20. Setores ganhadores e perdedores, micro de Itabira, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050	205
Gráfico 21. Setores ganhadores e perdedores, micro de Itaguara, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050	206
Gráfico 22. Setores ganhadores e perdedores, micro de Ouro Preto, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050.....	208
Gráfico 23. Setores ganhadores e perdedores, micro de Conselheiro Lafaiete, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050.....	209
Gráfico 24. Setores ganhadores e perdedores, micro de Parauapebas, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050.....	210

Gráfico 25. Setores com maior crescimento ponderado (%), Conceição do Mato Dentro, 2016	212
Gráfico 26. Setores com maior crescimento ponderado (%), Belo Horizonte, 2016	214
Gráfico 27. Setores com maior crescimento ponderado (%), Itabira, 2016	216
Gráfico 28. Setores com maior crescimento ponderado (%), Itaguara, 2016.....	217
Gráfico 29. Setores com maior crescimento ponderado (%), Ouro Preto, 2016.....	218
Gráfico 30. Setores com maior crescimento ponderado (%), Conselheiro Lafaiete, 2016	220

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Alíquotas de minerais antes e depois da Lei nº 13.540	60
Tabela 2. Distribuição valor da produção do minério de ferro entre as regiões do modelo, 2015	86
Tabela 3. Participação nacional da atividade econômica no Valor Adicionado Bruto, 2015	102
Tabela 4. Parâmetros e elasticidades do modelo	108
Tabela 5. Municípios e microrregiões selecionados, População residente, PIB, PIB per capita, cota- parte CFEM e Receita Corrente, 2015	112
Tabela 6. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Conceição do Mato Dentro	119
Tabela 7. Empresas em operação na microrregião de Belo Horizonte.....	124
Tabela 8. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Belo Horizonte	130
Tabela 9. Empresas com operação na microrregião de Itabira.....	139
Tabela 10. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Itabira	141
Tabela 11. Empresas com operação na microrregião de Itaguara	146
Tabela 12. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Itaguara.....	148
Tabela 13. Empresas que operam na microrregião de Ouro Preto	154
Tabela 14. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Ouro Preto	155
Tabela 15. Empresas que operam na microrregião de Conselheiro Lafaiete	159
Tabela 16. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Conselheiro Lafaiete	161
Tabela 17. Índice de diversificação e vulnerabilidade, microrregiões mineiras	164
Tabela 18. Diferença estimativas de produção de minério de ferro por microrregião mineira	184
Tabela 19. Regionalização das operações da Vale em Minas Gerais.....	186
Tabela 20. Resultados macroeconômicos do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, desvio acumulado (%) em 2050 em relação ao cenário base.....	196

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Desagregação setorial.....	87
Quadro 2. Descrição dos conjuntos estruturais	88
Quadro 3. Participações regionais que compõem o procedimento de regionalização.....	102
Quadro 4. Condições de equilíbrio fluxos comerciais	107
Quadro 5. Maiores empreendimentos de minério de ferro em Minas Gerais e barragens associadas	179
Quadro 6. Descrição das variáveis utilizadas para o fechamento do modelo	192
Quadro 7. Estratégia de Diversificação produtiva Regional	227

SUMÁRIO

Introdução.....	13
Capítulo 1. Desenvolvimento de Territórios Minerários - Principais Influências Teóricas	17
1.1. Teoria Clássica de Desenvolvimento Regional.....	17
1.2. Desenvolvimento sustentável sob a ótica da economia dos recursos naturais	22
1.3. Redesenolvimento de territórios minerados	30
1.4. <i>Smart specialisation</i> e Complexidade como estratégia de desenvolvimento territorial	40
1.5. Síntese das principais contribuições.....	44
Capítulo 2. Dinâmica Produtiva do Minério de Ferro no Brasil	46
2.1. Superciclo e <i>bust</i> mineral	46
2.2. Inovação e mineração 4.0.....	50
2.3. Regulação da mineração no Brasil	56
2.4. Iniciativas de desenvolvimento sustentável em Minas Gerais	64
2.4.1. Iniciativa Transição Justa	64
2.4.2. O Programa Reconversão Produtiva de Territórios Minerados	69
Capítulo 3. Metodologia.....	73
3.1. Breve revisão de modelos de equilíbrio geral computável.....	74
3.1.1. Modelos de equilíbrio geral computável para a indústria mineral	76
3.2. Especificação setorial e regional	85
3.3. Estrutura de dados padrão de modelos de EGC	88
3.4. Estrutura teórica	91
3.5. Bases de dados e procedimento de regionalização.....	97
3.5.1. Organização base de dados nacional	99
3.5.2. Distribuição regional da produção e da demanda final	101
3.5.3. Estimativa da matriz de comércio inter-regional	104
3.6. Elasticidades e parâmetros	107
3.6. Análise de multiplicadores de produção	108
Capítulo 4. Caracterização das regiões minerárias de Minas Gerais.....	111
4.1. Conceição do Mato Dentro	114
4.2. Belo Horizonte	122
4.3. Itabira	134
4.4. Itaguara.....	144
4.5. Ouro Preto	150
4.6. Conselheiro Lafaiete	158
4.7. Dependência regional.....	163

Capítulo 5. Simulações e principais resultados.....	166
5.1. Rompimentos, descomissionamentos e descaracterização de barragens de mineração	166
5.2. Descrição de cenários e choques.....	172
5.3. Fechamento do modelo	191
5.4. Resultados da Desaceleração do Setor Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro em Minas Gerais	194
5.5. Ganhos de produtividade e mudança estrutural	210
5.5.1. Conceição do Mato Dentro	212
5.5.2. Belo Horizonte	213
5.5.3. Itabira	215
5.5.4. Itaguara.....	217
5.5.5. Ouro Preto	218
5.5.6. Conselheiro Lafaiete	219
5.6. Estratégias de desenvolvimento para as microrregiões mineradas.....	221
Conclusão.....	230
Referências bibliográficas.....	235
Anexo 01. Índices para análise regional.....	249
Anexo 02. Variação anual da produção de minério de ferro.....	251
Anexo 03. Setores do modelo.....	252
Anexo 04. Participação do setor, em termos de valor, na economia regional, Minas Gerais.....	255
Anexo 05. Equações comportamentais do modelo	256

Introdução

A forma como empreendimentos minerários interagem com o território e as comunidades locais pode ser um fator decisivo para o desenvolvimento econômico regional. Contudo, nem sempre há clareza sobre quais são os impactos locais (positivos e negativos) da mineração e sobre quais são os mecanismos de compartilhamento dos benefícios advindos da mesma e suas possibilidades de geração de desenvolvimento local inclusivo, para além do enclave produtivo mineral (ENRIQUEZ, 2008).

Essa discussão tomou nova relevância com o superciclo mineral. Desde o início dos anos 2000, a indústria global da mineração experimentou crescimento sem precedentes. Os preços de mercado das *commodities* minerais sofreram altas sucessivas e expressivas entre 2004 e 2011 e entre 2016 e 2020, principalmente. Isso ocasionou a implantação de novos projetos minerários ao redor do mundo, inclusive no Brasil (SÖDERHOLM & SVAHN, 2015).

Durante a década de 2000, as regiões minerárias de minério de ferro de Minas Gerais passaram pela expansão da especialização produtiva mineral (a atração de investimento estrangeiro direto em novos projetos minerários, expansão de plantas existentes e reativação de minas) que foi acompanhada pelo incremento da dependência externa e pela redução das vantagens comparativas em atividades com alta e média intensidade tecnológica (NAHAS *et al.*, 2019b).

Na fase recessiva do ciclo, anos 2012 a 2015, o estado de Minas Gerais possuía regiões com alta dependência da atividade mineral combinada com o esgotamento relativo de parte de suas jazidas, crescimento do passivo ambiental acumulado e falta de perspectiva de desenvolvimento econômico local, uma vez que não há uma política estadual ou nacional norteadora do desenvolvimento dessas localidades. Cenário este que foi agravado pela perda de competitividade estadual no mercado de minério de ferro e pelos rompimentos e acionamentos de sirene de barragens de rejeito de mineração que culminaram na determinação do descomissionamento ou descaracterização das barragens de rejeito construídas com alteamentos a montante. Deste modo, é fundamental que os possíveis impactos regionais da desaceleração da mineração de minério de ferro sejam estudados para subsidiar políticas públicas ou planejar a reconversão produtiva dessas localidades.

A literatura sobre economia regional pontua algumas questões relevantes sobre o desenvolvimento de uma economia de base extrativa mineral. Hirschman (1958) sinaliza a limitação dos efeitos de encadeamento e do desenvolvimento do mercado doméstico derivados

dessa base produtiva. North (1955) delimita um paradigma desenvolvimentista próprio das economias de base exportadora extrativa mineral e discorre sobre a experiência exitosa dos Estados Unidos. Na mesma linha, está a *Staple Theory*, formalizada por Harold Innis (1940) e Melville Watkins (1963), que contribuiu com a análise dos produtos primários e possibilidades de desenvolvimento para outras cadeias a partir da base extrativa mineral.

Outras abordagens partem da contribuição de Solow (1974) sobre o uso de recursos naturais. A substitutibilidade dos recursos naturais por capital, em conjunto com progresso tecnológico, facilitou o uso extensivo desses recursos. Em consequência, a discussão central em grande parte da economia dos recursos naturais se baseou na determinação de políticas ótimas, no paradigma da sustentabilidade fraca¹ e na discussão da equidade intergeracional, em relação ao nível de bem-estar econômico da população. Autores como Hotelling (1931) e Hartwick (1977) apontaram contribuições relevantes em relação ao tempo ótimo da extração dos recursos naturais exauríveis. Por fim, a teoria recente de desenvolvimento sustentável, inclusivo e de base local, permite avançar a análise da contribuição da matriz produtiva extrativa mineral para o desenvolvimento local. Nesse sentido, as dimensões social, ambiental e de governança são pontos-chave para o desenvolvimento endógeno regional.

Complementarmente, experiências internacionais de *smart specialization*² contribuem ao escopo dessa tese, uma vez que a desaceleração da indústria extrativa mineral pode implicar mudança estrutural da economia das localidades minerárias.

A proposta principal desta tese é estudar os impactos econômicos de uma possível paralisação da produção de minério de ferro sobre a estrutura produtiva das regiões minerárias de Minas Gerais, entre os anos de 2016 e 2050. Assim, a ideia central é avaliar se a redução do estoque de capital natural mineral, que progressivamente vem sendo transformado em capital manufaturado geraria, de fato, um fluxo de renda sustentável, para além da exauribilidade econômica dos recursos férreos minerais em Minas Gerais, entre os anos de 2016 a 2050³. Ou, contrariamente, se a redução do estoque de capital natural minerário estaria atrelada a redução

¹ Solow (1974) intitulou que o uso sustentável dos recursos naturais deve ser de tal modo que garanta o consumo per capita não decrescente das gerações atuais e futuras. Assim, a preservação do capital natural está associada a lógica da maximização do bem-estar social intertemporal e não se relaciona com princípios éticos sobre a preservação dos recursos naturais (ENRIQUEZ, 2006).

² A ser tratada nas próximas seções, *smart specialisation* é uma abordagem de desenvolvimento regional que ganha espaço no debate europeu, propugnando selecionar um número limitado de áreas prioritárias relacionadas aos recursos tácitos de determinada a região e conectar os esforços de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com as necessidades comerciais, o que almeja desenvolver as vantagens comparativas de forma mais coerente (AMOSHA *et al.*, 2018).

³ Segundo o conceito de sustentabilidade fraca (MIKESELL, 1994; SOLOW, 1993)

da atividade econômica, em Minas Gerais, entre os anos de 2016 a 2050⁴. Isto foi testado a partir da estimação dos impactos econômicos da desaceleração da mineração nesses territórios. Deste modo, não cabe neste escopo mensurar o nível de bem-estar intergeracional da população residente, nem mesmo abordar, de forma sistemática e quantitativa, as dimensões sociais e ambientais, partes essenciais para o desenvolvimento sustentável local. A tese aqui exposta contribui com a literatura de desenvolvimento regional em dois pontos principais:

- 1) Desenvolvimento de metodologia para decompor a produção mineral estadual na produção mineral municipal, por mina e por empresa;
- 2) Desenvolvimento de um modelo de equilíbrio geral especificado para o setor extrativo mineral, com quantitativos de produção de minério de ferro aderente aos dados oficiais.

Os modelos de Equilíbrio Geral Computável são ferramentas adequadas para analisar impactos de políticas públicas e fenômenos (choques) econômicos. Nesta tese, a modelagem permitiu delimitar choques de produção, no caso do setor de minério de ferro, em função do esgotamento de jazidas, de rompimentos e de descomissionamentos e descaracterizações de barragens de rejeito de mineração. Para tal, foi desenvolvido um modelo inter-regional de equilíbrio geral computável para 7 regiões produtoras de minério de ferro no Brasil. Destas, 6 estão localizadas no estado de Minas Gerais e 1 no estado do Pará, principais regiões produtoras do país. Dois cenários foram simulados. No primeiro, foram implementados choques de produção executados nas regiões produtoras de minério de ferro, entre os anos de 2016 a 2050. A consolidação e interpretação dos resultados indicou regiões mais prejudicadas e beneficiadas e também setores ganhadores e perdedores em cada uma das regiões do modelo. No segundo cenário, foram empreendidos choques de produtividade setorial com o intuito de avaliar rotas de diversificação, com base na estrutura produtiva regional, e identificar quais setores poderiam receber incentivos de maneira a dirimir os impactos negativos de uma paralisação repentina de plantas minerárias em cada região.

A tese está dividida em cinco capítulos, além desta introdução e da conclusão. O primeiro capítulo descreve aspectos teóricos de economia regional e da economia dos recursos naturais. O segundo descreve a dinâmica produtiva do setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro, incluindo uma alusão ao superciclo mineral, aos instrumentos regulatórios setoriais brasileiros, a iniciativas e tendências institucionais envolvendo a mineração em Minas Gerais.

⁴ Segundo o conceito de sustentabilidade forte (FAUCHEUX & NÖEL, 1995; DALY, 1996).

O terceiro capítulo discorre sobre a metodologia utilizada para implementar o modelo de Equilíbrio Geral Computável desenvolvido. A partir da base de dados do modelo, o quarto capítulo apresenta a caracterização econômica e histórica das regiões minerárias, foco do estudo. O último capítulo contém a descrição dos cenários, choques e simulações realizadas, bem como os resultados empíricos. Em seguida, são expostas as considerações finais que abarcam a sumarização dos principais resultados e análises encontradas durante a elaboração da tese.

Capítulo 1. Desenvolvimento de Territórios Minerários - Principais Influências Teóricas

Este capítulo concentra algumas das principais influências teóricas desta tese. Inicialmente, são elucidados aspectos da economia regional que se relacionam com o desenvolvimento local a partir da base produtiva mineral, trazendo assim as contribuições de Hirschman e North, seguidos por Harold Innis e Melville Watkins, autores da escola canadense. Em seguida, são apresentados elementos da economia dos recursos naturais, de acordo com a escola neoclássica, incluindo o conceito econômico de sustentabilidade e abordando os fundos de gestão da renda mineral e suas contribuições para o desenvolvimento local. Dado o fato de que esta discussão se refere a territórios em que a mineração permanece presente no médio prazo, ao passo que algumas regiões mineiras passam pelo fim do ciclo produtivo de seus empreendimentos minerários, este capítulo também versa sobre o tópico mais amplo de redesenvolvimento de territórios minerados. Para isso, exemplifica experiências internacionais exitosas no redesenho de territórios de base produtiva mineral. Por fim, a última seção traz dois paradigmas recentes de grande importância para a discussão do desenvolvimento regional a partir de bases minerais.

1.1. Teoria Clássica de Desenvolvimento Regional

A questão sobre se, de fato, uma base produtiva primária teria capacidade de promover o desenvolvimento local é discutida, sobre óticas diferentes, por Hirschman (1958; 2013 [1977]) e North (1955).

Hirschman (1958) afirma que as indústrias extrativas – minerárias ou agrícolas – têm efeitos de encadeamento fracos, gerando pouca demanda induzida ou derivada e pouco estímulo ao investimento. Os efeitos de encadeamento (*linkage effects*) de uma determinada linha de produto são forças impulsionadoras de investimentos estabelecidas via relações de insumo-produto quando instalações que ofertam os insumos utilizados pela linha ou que compram seus produtos são inadequadas ou não existem. A noção está associada com a teoria do desenvolvimento desequilibrado, uma vez que tais conexões do consumo intermediário impulsionam, via perspectivas de lucro, a ação empreendedora privada ou pública num sentido que provoca novos desbalanceamentos e impactos secundários que se espalham pela economia.

Como afirma Hirschman (2013 [1977]), um motivo para as indústrias extrativas terem poucos efeitos de encadeamento são os obstáculos surgidos quando a tecnologia é estrangeira e desconhecida pelos produtores nacionais. Por um lado, para os encadeamentos para trás (*backward linkages*), o salto tecnológico a ser realizado na produção de materiais brutos é muito

grande: na agricultura, por exemplo, é difícil para um país produtor de bens primários desenvolver a indústria química ou de pesticidas, e na mineração, o mesmo pode ser dito quanto à indústria de bens de capitais, máquinas e equipamentos para extração. Por outro lado, para os encadeamentos para frente (*forward linkages*), frequentemente as operações de processamento são realizadas com tecnologia estrangeira e controladas por grupos que não os produtores dos bens primários, estes ficando, assim, isolados nas atividades de baixo valor adicionado.

Visando adequar os conceitos de efeitos de encadeamento (*linkages effects*) à produção primária, Hirschman (2013 [1977]) distingue três classes de efeitos em cadeia. A primeira classe são os encadeamentos de produção: encadeamentos a jusante, a montante e de demanda final (HIRSCHMAN, 1958). A segunda classe são os encadeamentos de consumo, que são efeitos mais indiretos como o financiamento de importações de bens de consumo com renda advinda da exportação de produtos primários e o surgimento de indústrias de substituição de importações. A terceira classe são os encadeamentos fiscais, que consistem no redirecionamento da renda acumulada pelos produtores de bens primários para investimentos produtivos, via governo.

Ao invés dos três encadeamentos se reforçarem, frequentemente um está às expensas do outro. De fato, os *linkages* fiscais apresentam forte aparecimento nas atividades de mineração e extração de petróleo, que formam uma estrutura de enclave na economia e conseqüentemente apresentam poucos efeitos de cadeia. Entretanto, não basta o Estado ter capacidade de tributação: a fim dos empreendimentos governamentais serem efetivos mecanismos de desenvolvimento, é necessário que tenha capacidade de realizar investimentos produtivos adequados (HIRSCHMAN, 2013 [1977]).

Observações semelhantes podem ser encontradas em autores da escola canadense da *Staple Theory*, desenvolvida inicialmente por Harold Innis e formalizada por Melville Watkins (INNIS, 1940; MACKINTOSH, 1923, 1936; WATKINS, 1963). A *Staple Theory* consiste em um estudo de crescimento econômico específico de países “novos”, isto é, aqueles colonizados nos últimos quatro séculos. A hipótese fundamental versa que o mercado doméstico restrito e a proporção dos fatores (terra abundante em relação à mão de obra e capital) levaram à vantagem comparativa na exportação de produtos intensivos em recursos naturais, isto é, produtos básicos⁵. O desenvolvimento econômico em um contexto como este corresponderia à

⁵ *Staples*, em inglês (tradução livre).

diversificação da economia em torno do setor exportador (WATKINS, 1963).

Innis (1940), historiador econômico canadense e pioneiro do corpo teórico, salientou a dependência do Canadá à exportação de bacalhau, pele, madeira, celulose, trigo e produtos minerais nas primeiras décadas que seguiram à colonização. A exportação de bens não processados ou semiprocessados em parte foi necessária em decorrência do atraso tecnológico do país, e foi benéfica à medida que possibilitava manter altos padrões de vida, atraindo imigrantes estrangeiros – sendo o trabalho um dos fatores escassos relativamente à disponibilidade de terra. Com o passar do tempo, entretanto, o setor de produtos primários recebeu recursos excessivamente e contribuiu para a manutenção do atraso tecnológico, fazendo com que a economia ficasse dependente e sujeita à instabilidade do preço de *commodities* no mercado mundial — quadro denominado de “armadilha do produto básico” (WELLSTEAD, 2007).

Entretanto, Watkins (1963) afirma que o investimento em outros setores e a diversificação produtiva poderiam ser resultados induzidos pelo crescimento da exportação de produtos primários, e identifica três condicionantes pelos quais isso poderia ocorrer, de acordo com os efeitos em cadeia (*linkage effects*) especificados por Hirschman (1958). Em primeiro lugar, a diversificação será tanto maior quanto maiores os requerimentos de recursos e tecnologia dos setores a montante, que permitem a produção doméstica. Em segundo lugar, a existência de encadeamentos a jusante depende da possibilidade de processamento no país produtor e da incidência de tarifas estrangeiras nos países compradores de matérias primas – se as tarifas protegem bens manufaturados, a produção no país produtor não terá efeitos para frente. Por fim, quanto maior a propensão marginal a importar, e quanto maior a participação de bens de luxo, menor o encadeamento da demanda final, que é desviada para o mercado internacional.

Dada uma expansão da demanda de exportação do produto básico, se o efeito de propagação for suficiente, os setores domésticos crescerão concomitantemente ao setor de produtos primários, e não haverá obstáculo por parte do preço dos fatores se a oferta for elástica. No longo prazo, entretanto, o estímulo externo pode cessar, seja por retornos decrescentes pelo lado da oferta, seja por movimentos adversos por parte da demanda, como a entrada de novos competidores, a concorrência com novos produtos ou sintéticos, ou simplesmente a mudança nas preferências (WATKINS, 1963). Essa tendência poderia ser diminuída por melhoras mercadológicas ou inovações redutoras de custos.

Watkins (1963) afirma ainda que o principal entrave ao crescimento de um país dependente de produtos primários é a mentalidade exportadora, em que há concentração de recursos no setor exportador e relutância em desenvolver os setores domésticos. Aqui, a burocracia pode ter um papel refratário à diversificação, uma vez que os gestores públicos podem ficar “viciados” na renda do produto primário.

North (1955) é mais otimista que Watkins quanto à diversificação produtiva que poderia ser proporcionada por uma base exportadora em pleno funcionamento. Para North (1955), o estabelecimento da exportação de uma determinada mercadoria viável economicamente em uma região reflete uma vantagem comparativa em custos relativos de produção. Do ponto de vista regional, a demanda por exportações é um fator exógeno, enquanto os custos de processamento (*processing costs*) e transferência (*transfer costs*) são endógenos (NORTH, 1955). Assim, historicamente as regiões tomaram iniciativas para reduzir tais custos, como obter subvenções federais para melhorias em portos e na infraestrutura de transporte.

Segundo North (1955), à medida que as regiões cresceram em torno da base de exportação, desenvolveram-se economias externas que melhoraram a posição competitiva da região na produção da mercadoria: o sistema de crédito, as instalações de transporte, a mão de obra especializada, os centros de pesquisa em tecnologia e a criação de indústrias complementares foram orientados para a produção para exportação. Além disso, como o estoque de capital é, em sua maioria, estrangeiro, os investimentos geralmente são aplicados no setor de exportação, ao invés de em novas atividades.

Assim, a economia doméstica e sua trajetória de desenvolvimento são moldados pelo setor exportador. Essa dependência é tanto direta, via retorno das remunerações dos fatores de produção (salário dos trabalhadores e lucro dos capitalistas nacionais ou proprietários de terras), quanto indireta, uma vez que as demais atividades econômicas, inclusive indústrias para mercado local, dependem da renda gerada no setor exportador.

Entretanto, North (1955) afirma que o alto nível de renda obtido pela exportação de produtos primários levaria ao desenvolvimento de indústrias e outras atividades na região, o que se aplicaria, em especial, para indústrias produzindo para consumo local, para as indústrias baseadas em materiais (isto é, com vantagens locacionais se estabelecendo perto de fontes de matérias brutas), para indústrias que servem à exportação e mesmo para indústrias sem vantagens locacionais cujo estabelecimento é por acaso. O crescimento da renda no setor

exportador implicaria o influxo de capital que, a partir de determinado nível de saturação na indústria exportadora, “transbordaria” para os demais setores da economia nacional. Com isso, North (1955) afirma que necessariamente o crescimento da base de exportação levaria à sua própria diversificação e à redução das diferenças entre as regiões.

Cumprir fazer uma breve observação acerca das contribuições de Celso Furtado em relação à possibilidade (ou não) de desenvolvimento a partir de bases primárias. Na obra de Furtado, a inserção de ex-colônias europeias no mercado internacional se realizou e se manteve, ao longo do tempo, por meio de um processo que perpetuou mecanismos de dependência econômica. Nesse sentido, uma das principais formas de absorção das economias periféricas à economia mundial, a exploração de recursos naturais foi um dos aspectos centrais do subdesenvolvimento. Isso se explica pelo fato de que o padrão de inserção dessas economias foi marcado pelo controle estrangeiro dos capitais investidos, pela utilização de tecnologias adquiridas externamente e pela limitação a atividades de caráter primário. Com isso, o polo dinamizador da economia se encontraria no mercado externo, e toda a estrutura produtiva se adequaria à atividade exportadora (FURTADO, 1980, 2009; REIS & SILVA, 2015).

Furtado (1969) tipifica as economias exportadoras de matérias-primas em três categorias: exportadores de produtos agrícolas de clima temperado, países exportadores de produtos agrícolas tropicais e países exportadores de produtos minerais. A característica básica deste último grupo seria a presença de grande progresso técnico nas minas, em geral de propriedade de estrangeiros. A presença do capital estrangeiro, que remete dividendos ao exterior, alicerçada com o usufruto de técnicas poupadoras de mão de obra, faria com que não ocorresse o “transbordamento” da renda para a economia nacional e florescimento de outras atividades, como defendido por North (1955). Pelo contrário, a economia exportadora de recursos minerais se aproximaria de um enclave, isolado das demais indústrias, e marcado, em primeiro lugar, por infraestrutura especializada e incapaz de aumentar a produtividade de outras atividades, e, em segundo lugar, por baixa capacidade de contribuir para ampliar o mercado interno, dada a diminuta absorção de mão de obra (FURTADO, 2009). Em resumo, a mineração implicaria transferência externa de renda, redução dos fluxos de salários no interior da economia e pouca articulação com demais setores (COUTINHO, 2008).

Os cânones do desenvolvimento regional, assim, divergiam sobre a capacidade que uma base produtiva primária teria para engendrar desenvolvimento, indo daqueles que acreditavam em um *link* direto entre renda minerária e diversificação, como North, para aqueles mais céticos do

benefício líquido para a economia do território.

1.2. Desenvolvimento sustentável sob a ótica da economia dos recursos naturais

Até a década de 1970, a teoria econômica como um todo, e a teoria do desenvolvimento econômico em particular, desconsideravam, com raras exceções⁶, que os recursos naturais poderiam constituir um limite ao crescimento (FAUCHEUX & NÖEL, 1995). A publicação do livro “*The limits to Growth*” (1972), por Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, e William W. Behrens III, foi um marco da mudança desse paradigma, bem como a realização, no ano de 1972, da primeira conferência mundial específica para discutir o meio ambiente, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, celebrada em Estocolmo. Outro marco foi a publicação do Relatório Brundtland – *Our common future*, em 1987, no qual, de forma até então pioneira, chegou-se à definição de desenvolvimento sustentável como aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades (WCED, 1987)

Desde a década de 1970, assim, observou-se a tentativa de incorporação do caráter exaurível dos recursos naturais nos modelos econômicos, bem como da noção de sustentabilidade. A definição de sustentabilidade na economia é disputada por três correntes, que possuem considerações diferentes quanto ao grau de substitutibilidade ou complementaridade entre o capital manufaturado, isto é, construído pelo ser humano, e o capital natural, que engloba os recursos naturais e os serviços ecossistêmicos. A problemática central da economia dos recursos naturais é determinar políticas ótimas e as implicações teóricas da presença de recursos naturais não renováveis na economia visando um crescimento econômico sustentável. Isto, porque a exaustão destes bens pode gerar prejuízos para as gerações futuras, caso sua utilização atual não garanta a manutenção do bem-estar da sociedade. Nessa seção serão sumarizadas as ideias norteadoras de economia dos recursos naturais, bem como de 3 vertentes de sustentabilidade, pela ótica econômica: sustentabilidade forte, sustentabilidade fraca e sustentabilidade sensata.

A contribuição de Solow (1974) levou a uma série de desenvolvimentos e discussões sobre o tema da sustentabilidade. Na discussão da equidade intergeracional, Solow (1974) supõe que o consumo *per capita* seja constante ou crescente ao longo do tempo. Frente à exauribilidade dos recursos naturais, o autor recorre aos teoremas de Hotelling (1931) e de Hartwick (1977) para obter uma contabilidade do estoque de capital natural exaurível. Assim, o “capital natural”, ou

⁶ Hotelling (1931) foi precursor do estudo dos recursos exauríveis.

seja, os recursos naturais compõem o estoque de “capital manufaturado” de uma economia e, portanto, também são insumo da função de produção do modelo. Mais importante, para a manutenção de uma utilidade não declinante, posta em termos de um consumo não declinante, é necessário assegurar o reinvestimento das rendas provenientes do uso do “capital natural” pela geração atual em “capital manufaturado”.

Há que se considerar as limitações sobre a inserção dos recursos naturais na equação da produção. Primeiramente, os recursos naturais exauríveis entram como fator de produção similar a uma derivação do capital. Não há nenhuma relação de causalidade entre o capital físico e o capital natural, ou seja, o estoque de capital não deriva diretamente dos recursos naturais disponíveis no meio ambiente. Além disso, a geração de resíduos e rejeitos é desconsiderada da equação de produção. Qualquer tipo de mudança dos ecossistemas que afetem o estoque de recursos naturais exauríveis também não pode ser contabilizado pelo modelo.

Talvez a maior contribuição da modelagem proposta por Solow (1974) seja a harmonização da teoria do crescimento ótimo (Ramsey e derivações), baseada no conceito utilitarista, com a teoria do bem-estar social, mais especificamente a Teoria da Justiça⁷ (RAWLS, 1971) contemplando o uso dos recursos naturais exauríveis pelas gerações atuais e futuras.

Todavia, a relação de transformação entre capital e recursos, na qual o uso intensivo de recursos naturais pelas gerações iniciais implica aumento do estoque de capital para as gerações futuras, pode não ocorrer na realidade em que os princípios da Justiça Social de Rawls não são empregados. Ainda mais relevante, a possibilidade do consumo crescente entre gerações pela introdução massiva do progresso técnico que, de certo modo põe em segundo plano a Teoria da Justiça de Rawls, dificilmente ocorrerá ao redor do globo ao mesmo tempo. Vale destacar também que o pressuposto de que a elasticidades de substituição entre os recursos naturais e a

⁷ Dado a impossibilidade de as gerações futuras declararem suas preferências em negociações com a geração presente sobre sua participação na reserva de recursos naturais, a questão da justiça distributiva entre gerações torna-se extremamente delicada. A determinação da participação justa, obtida com base na Teoria da Justiça de Rawls (1971), arbitra sobre o problema da distribuição intergeracional. Segundo a hipótese do “véu da ignorância” sobre o papel na sociedade, a posição ou status social, ou até mesmo sobre a geração da qual cada indivíduo faz ou fará parte, quais seriam as regras desejáveis em relação ao consumo, à taxa de exploração de um recurso renovável e à taxa de extração do mesmo? Para Rawls, o indivíduo racional, não conhecendo seu próprio destino na vida, iria querer regras que maximizassem a utilidade do indivíduo menos favorecido. Em outros termos, com base em hipótese de comportamento racional, como ninguém sabe em que geração irá viver, desta sairiam regras que não permitiriam nem uma exploração excessiva e nem medidas extremamente conservacionistas. Do intercâmbio geracional derivariam regras de alocação que procurariam assegurar que as gerações futuras não se vissem em situação pior que a da geração presente. Ou seja, com o critério de *maximin*, haveria sustentabilidade intergeracional da exploração dos recursos e do bem-estar (FISHER, 1981).

combinação capital-trabalho é maior do que a unidade, essencial para que os resultados do modelo não se alterem significativamente com a introdução do parâmetro para recursos naturais exauríveis, é questionável, no mínimo.

Outras versões de modelos de decisões intertemporais do uso de recursos naturais, foram desenvolvidas por Conrad (1999). O autor aborda a maximização da utilidade com a introdução de recursos naturais renováveis e não renováveis. Conrad flexibiliza alguns dos pressupostos de Solow com o intuito de garantir uma solução ótima de Pareto (mudança no contrato social ótimo que aumenta a utilidade de uma geração sem reduzir a utilidade das demais gerações). Nesse caso, há um *trade-off*. O ponto de equilíbrio implica valores reduzidos do estoque de recursos renováveis, aumento da exploração de recursos renováveis em contraposição a um aumento do estoque de capital. Nos modelos nos quais a função de utilidade se baseia no consumo *per capita*, a sustentabilidade é mais difícil de ser assegurada.

Um ponto relevante abordado por Conrad (1999) se relaciona à dificuldade de aferir o nível de utilidade das futuras gerações. Ainda que as gerações atuais sejam intergeracionalmente altruístas, as incertezas em relação ao futuro (progresso técnico e preferências) implicam a possibilidade de comprometimento do bem-estar das gerações futuras. A geração atual não conhece a forma e eficiência das tecnologias futuras, mas também não deve confiar que o avanço do progresso técnico otimizará o uso dos recursos naturais ou minimizará impactos ambientais. Ao mesmo tempo, pode ser que as gerações futuras possuam especificações das suas funções utilidade distintas da atual, em relação a quais estoques (recursos naturais, informação, capital e infraestrutura) elas irão valorizar mais. Assim, a geração atual deve proceder de maneira prudente possibilitando múltiplas possibilidades para as gerações futuras, bem como confiar que a mesma será capaz de promover soluções para os próprios desafios.

Nesse sentido, a sustentabilidade forte parte da premissa de que os recursos naturais e as demais formas de capital possuem uma relação de complementaridade, de modo que a redução dos bens da natureza envolveria a diminuição do nível de atividade econômica. Essa noção está associada à ideia de preservação do meio ambiente ao longo do tempo, que se justificaria pela assimetria fundamental entre o capital manufaturado e o capital natural no que se refere à irreversibilidade do seu uso (FAUCHEUX & NÖEL, 1995; DALY, 1996).

Alternativamente, a sustentabilidade fraca considera que o capital natural poderia ser progressivamente substituído por capital manufaturado, algo que seria permitido com o avanço tecnológico. O objetivo da produção sustentável, nesse contexto, seria manter o nível de

rendimento e bem-estar *per capita* constante, período a período, mesmo na presença de um recurso exaurível. A redução do estoque de capital natural seria aceitável se o mesmo for convertido em “renda sustentável”, isto é, se for convertido em investimentos alternativos que possibilitem garantir um fluxo de rendimentos futuro (MIKESELL, 1994; SOLOW, 1993). Já a ideia de sustentabilidade sensata trabalha com o equilíbrio entre as diferentes dimensões do desenvolvimento: existiria substituição entre capital natural e capital manufaturado até certo ponto, mas haveria um limite mínimo dos diferentes capitais, isto é, um nível crítico a partir do qual não se poderia exaurir.

Esta tese tangencia os conceitos de sustentabilidade fraca e sustentabilidade sensata. Nesse sentido, o desenvolvimento econômico sustentável de um território com base mineral envolveria garantir a manutenção do bem-estar social da geração atual (intra) e futura (intergeracional), além da minimização dos impactos ambientais locais (ENRIQUEZ, 2006). Assim, como afirmam Auty & Warhurst (1993), essa atividade deve ser fonte não apenas da geração de riqueza atual, mas também deve ser utilizada para gerar um permanente fluxo de rendimentos capaz de assegurar o bem-estar das futuras gerações.

Em termos intertemporais, Hartwick (1977) afirma que as rendas minerais deveriam ser usadas em investimentos que gerem riqueza alternativa para substituir a renda mineral esgotável. Mikesell (1994) também propõe que parte da renda mineral seja poupada anualmente e aplicada a juros compostos para criar um fundo que possibilite às futuras gerações uma receita líquida correspondente às rendas minerais depois da exaustão da mina. Para isso, porém, é preciso que não sejam feitas retiradas do fundo antes do esgotamento das reservas minerais.

Experiências internacionais sinalizam que a criação de fundos para gerir a renda mineral local tem contribuído positivamente para garantir a apropriação dos benefícios pelas gerações subsequentes, uma vez que potencializam alternativas para a manutenção do nível de bem-estar para além da exploração mineral (ENRIQUEZ, 2006). Dentre os mais consolidados estão os fundos do Alaska, Alberta, o Fundo soberano da Noruega, o Fundo Soberano de Maricá e o e Fundo Municipal de Canaã dos Carajás, exemplificados a seguir.

O Alaska Permanent Fund Corporation (APFC) foi instituído em 1976, durante a fase de construção do oleoduto TransAlaska, com o objetivo de prover renda às futuras gerações depois que as reservas de petróleo se esgotarem, além de financiar o monitoramento das condições ambientais locais. Seus recursos financeiros advêm de cobranças de taxas junto às empresas petrolíferas, permitindo ao fundo aplicar nos mercados financeiros suas receitas

(ENRIQUEZ, 2006). O estado de Alaska direciona, anualmente, pelo menos 25% das receitas de recursos não renováveis ao fundo. Os dividendos gerados são distribuídos a todos os cidadãos que vivem pelo menos há 12 meses no Alaska. Em abril de 2020, o valor total do fundo era de U\$ 60 bilhões. Cabe destacar que a administração e o uso do fundo estão isentos de injunções políticas, o que garante melhor governança dos recursos (ENRIQUEZ, 2006; APFC, 2020).

Também criado em 1976, o Alberta Heritage Savings Trust Fund, da província de Alberta, Canadá, foi instituído com o objetivo de poupar recursos para o futuro, fortalecer e diversificar a economia local e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. Inicialmente, o fundo recebia 30% das receitas provenientes da extração de recursos não renováveis; essa percentagem foi reduzida para 15% em 1982 e as transferências de receitas de recursos naturais foram interrompidas a partir de 1987, havendo apenas depósitos do governo nos anos fiscais de 2005, 2006 e 2007. Atualmente, o fundo é gerenciado pela Alberta Investment Management Corporation e, em março de 2019, o fundo valia C\$ 18,2 bilhões. Os recursos possuídos são investidos em ações, títulos da dívida, estoques e demais instrumentos financeiros. Sendo atrelado às contas públicas, o fundo é usado para programas na área de educação e saúde, e o governo o utiliza para realizar ajustes necessários no orçamento. Os benefícios financeiros também já foram utilizados para o pagamento da dívida pública da província, e mesmo para empréstimos interprovinciais (AHSTF, 2021).

O Fundo Soberano da Noruega (FSN), ou Government Pension Fund Global, foi criado pelo parlamento norueguês em 1990, com intuito de administrar a renda advinda do petróleo extraído do Mar do Norte, garantindo que o dinheiro seja utilizado para crescimento sustentável da economia no longo prazo. O fundo recebe depósitos decorrentes das receitas de produção de petróleo e gás, que constituem cerca de metade do valor, sendo o restante acumulado por rendimentos de investimento em renda fixa, aluguel de propriedades e ações. O FSN possui valor de mercado de U\$ 1,3 trilhões de dólares, tendo participação em mais de 9.100 empresas em 73 países. Sendo administrado por uma unidade do Banco Central norueguês, o governo só pode gastar, em média, o equivalente ao retorno real do fundo, isto é, cerca de 3% ao ano, garantindo, assim, que não haja retiradas do principal. Cabe destacar que a administração do FSN possui rígidos critérios para investimento, analisando questões ambientais e sociais, de modo que o fundo tira recursos se considerar que a empresa não

contribui para a sustentabilidade socioambiental ou impõe custos excessivos à sociedade⁸.

Cabe destacar o caso australiano. A Austrália é o maior exportador de produtos minerais do mundo, tendo uma das maiores reservas de ouro, minério de ferro, níquel, bauxita, cobalto, cobre, urânio, carvão, zinco e lítio, sendo que os principais estados produtores são Western Australia e Queensland. Em 2008, o governo de Western Australia (WA) iniciou o programa Royalties for Regions, estabelecendo a distribuição de 25% dos *royalties* gerados por atividades minerárias em fundos para investimentos em projetos de longo prazo no estado. Em 2012, Queensland estabeleceu um programa semelhante, com criação de um fundo para financiar iniciativas de infraestrutura, como projetos contra enchentes e melhoria das estradas que servem às comunidades da região (SÖDERHOLM & SVAHN, 2015). No mesmo ano, o governo da Austrália aprovou um novo imposto de 30% sobre os lucros das minas de minério de ferro e de carvão, visando aumentar a internalização da renda gerada no setor mineral (FURTADO & URIAS, 2013, p. 254).

É necessário ressaltar o caráter particular do desenvolvimento australiano, que, segundo Wright & Czelusta (2003), é um dos maiores exemplos de como a exploração da base mineral de um país pode ser acompanhada de crescimento econômico e progresso tecnológico. O aspecto principal do desenvolvimento da Austrália foi o estabelecimento de fortes interações econômicas entre a indústria extrativa mineral e o restante da economia. O setor de suporte à cadeia mineral, conhecido pela sigla METS (*Mining Equipment, Technology and Services*), tornou-se intensivo no uso de conhecimento, e fomentou esforços de inovação em outros setores, auxiliando na difusão de tecnologia e novos processos (STOECKEL, 1999; VILLE & WICKEN, 2012). Por um lado, a indústria extrativa mineral procurou novas tecnologias para aumentar eficiência, extrair uma porcentagem maior de minérios ou desenvolver novas áreas para produção. Por outro lado, produtores de bens de capital e o setor de serviços se especializaram no mercado doméstico, em especial no desenvolvimento de soluções para o setor mineral. Com isso, o país se tornou um grande exportador de tecnologias e serviços associados à cadeia minerária (VILLE & WICKEN, 2012).

De maneira semelhante, o setor primário condicionou a evolução do sistema nacional de inovação, cada vez mais orientado para pesquisas no segmento mineral. As primeiras pesquisas geológicas em territórios australianos datam de metade do século XIX: o Instituto de Mecânica

⁸ Informações colhidas na página oficial do Government Pension Fund Global. Disponível em: <https://www.nbim.no/en/the-fund/about-the-fund/>. Acessado em: 05 mar. 2021.

de Sydney foi estabelecido em 1843, a Universidade de Sydney, em 1850, e o Colégio Técnico de Sydney, em 1878, ambos com o objetivo de difundir conhecimentos científicos da indústria de mineração (FURTADO & URIAS, 2013). Em 1920, havia 47 engenheiros para cada 100 mil habitantes na Austrália e 128 nos Estados Unidos; no entanto, em 1963, já existiam 163 engenheiros para cada 100 mil australianos, resultado obtido graças à rica infraestrutura de ensino e de pesquisa local. Em 1949, foi estabelecido na Austrália o CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*), organização orientada para fomentar pesquisa científica em benefício das indústrias primária e secundária. Uma característica essencial dos grupos de pesquisa australianos no setor mineral sempre foi a interação com as indústrias. Professores de geologia, por exemplo, trabalhavam como consultores de empresas mineradoras e participavam de projetos para desenvolver soluções específicas. Dessa forma, a cooperação entre indústrias primárias e instituições científicas foi estabelecida desde a fase inicial, sendo reproduzida ao longo do século XX (VILLE & WICKEN, 2012).

A participação da indústria mineral e dos METS (*Mining Equipment Technology Services*) no PIB da Austrália foi estimada em 15% no ano de 2019. O setor emprega diretamente 300 mil trabalhadores, e a renda advinda de *royalties* de propriedade intelectual utilizada pela indústria mineral corresponde a \$5 bilhões por ano (IBIS, 2020). Entre 2017 e 2018, o setor mineral investiu \$1,05 bilhões em Pesquisa e Desenvolvimento, ou 6% do dispêndio realizado pelas firmas australianas em P&D (AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS, 2019).

Embora não se saiba se os fundos estudados -- de Alberta, Alaska, Noruega e Austrália -- terão sucesso em manter a renda das regiões quando da exaustão das reservas, já que estas continuam sendo exploradas, pode-se dizer que tais fundos são benéficos à manutenção e ampliação do bem-estar social (ENRIQUEZ, 2006). Outra questão relevante é como introduzir essas experiências de nações desenvolvidas na realidade dos países em desenvolvimento. Como afirma Enriquez (2006), garantir que a administração do fundo tenha autonomia suficiente para focar na aplicação próspera dos recursos, assim como na distribuição democrática dos dividendos de acordo com os anseios comunitários, pode ser um gargalo para países com menor grau de maturação de suas instituições.

Não obstante, dois experimentos recentes estão em consolidação no Brasil: o Fundo Soberano do Município de Ilhabela e Fundo Soberano de Maricá. Criado em 2018, o Fundo Soberano do Município da Estância Balneária de Ilhabela tem o objetivo de formar poupança pública e financiar projetos de interesse estratégico para Ilhabela. O fundo é constituído por recursos

recebidos do repasse de *royalties* do petróleo, e a lei que o regulamenta estabelece que a partir do quinto ano após a criação do FSMI, deve ser destinado ao fundo 25% do total bruto creditado dos *royalties*, deduzidos os repasses vinculados às áreas de educação e saúde pela Lei Federal nº 12.858/2013. No final de 2019, o fundo contava com R\$ 167 milhões. Cabe ressaltar ainda que é vedada a vinculação dos recursos para despesas obrigatórias de caráter continuado, e a aplicação dos mesmos é acompanhada pelo Conselho Municipal de Acompanhamento das aplicações dos Royalties, formado por seis integrantes da sociedade civil eleitos por votação pública, e quatro indicados pela prefeitura (ILHABELA, 2018).

Outro exemplo é o Fundo Soberano de Maricá (FSM), criado em dezembro de 2017 e ligado à extração de Petróleo. A cidade detém 49% da confrontação relativa ao Campo Lula, na Bacia de Santos, e foi a primeira colocada no *ranking* nacional de municípios em termos de arrecadação de *royalties* do pré-sal no ano de 2017. Quando criado, o fundo receberia mensalmente aporte variável, na faixa entre 1% e 5% do valor total da arrecadação de *royalties*, além de aportes de maior vulto feitos trimestralmente no montante de 10% do valor recebido da Participação Especial. Em novembro de 2019, a lei foi alterada para aumentar para 10% o percentual de recursos aportados mensalmente (FERREIRA, 2020). A proposta do fundo visa a manutenção das redes de proteção social criadas pela Prefeitura, como programa de transferência direta de renda e o sistema de transporte público gratuito, além de garantir a cobertura financeira para fazer novos investimentos. Além disso, o FSM funcionaria como garantia para contratos de concessão administrativa ou patrocinada ou ainda para concessão de linha de crédito para empresas. No início de 2020, o montante acumulado do fundo somava R\$ 274 milhões (FERREIRA, 2020).

A cidade de Canaã dos Carajás, por sua vez, é a sede do maior investimento mineral no Brasil, denominado S11D, de propriedade da Vale S.A. Localizado na região Norte do país, em meio a Floresta Amazônica, Canaã ficou conhecido por centrar relevantes reservas minerais que possibilitaram ao município aglutinar significativa arrecadação de CFEM (Compensação Financeira e Exploração de Recursos Minerais). O Projeto Carta Aberta, derivado da parceria da Vale S.A. com a Agência de Desenvolvimento Social de Canaã dos Carajás, iniciado em 2014, tem o objetivo de gerar trabalho e renda local. Para tal, a proposta é incentivar atividades produtivas locais, o fomento a diversificação produtiva e a diversificação econômica.

O Fundo Municipal de Desenvolvimento Sustentável de Canaã dos Carajás, instituído em 2017, tem como objetivo “criar condições financeiras e de gerência de recursos a projetos de implantação, modernização, expansão e diversificação de empresas privadas localizadas no município”, para reduzir as desigualdades sociais e incentivar a criação, manutenção ou geração de postos de trabalho e renda, em consonância com a política de desenvolvimento social do município (LIMA, 2016).

O FMDS tem também como objetivo financiar projetos na modalidade empréstimos reversíveis, ou seja, que devem ser reembolsados ao mesmo. Os projetos devem comprovar viabilidade econômica e obter aprovação do Conselho Gestor. A linha de crédito pode ser acessada por empresa, pessoa física rural ou pessoa física em vulnerabilidade social que reside no município há 12 meses. O fundo, que é capitalizado com 5% da arrecadação da CFEM, iniciou suas atividades em 2019 e mais de R\$ 590 mil foram liberados (CARNEIRO, 2020).

Como os exemplos mencionados demonstram, a contribuição da teoria da sustentabilidade fraca / sensata para o desenvolvimento de regiões com mineração diz respeito, principalmente, a territórios em que a atividade ainda está em operação e pode continuar no médio prazo. Para algumas localidades mineiras, entretanto, esse não é o cenário, com décadas transcorridas de exploração mineral sem que tenham sido estabelecidos fundos de renda minerária. Assim, torna-se necessária uma abordagem teórica aplicada para a reconversão produtiva de regiões com histórico de mineração.

1.3. Redesenvolvimento de territórios minerados

Vários elementos estão envolvidos quando se discute territórios com passado minerário e que passaram pelo declínio da mineração, sendo que o primeiro elemento é a recuperação do passivo ambiental. A atividade minerária pode estar relacionada com uma gama de efeitos negativos no local em que ela é realizada, como desmoronamentos de terra, “cicatrices” no solo sob a forma de diques e poços, abalos na estética da paisagem e poluição do ar com poeira ou emissão de rejeitos sólidos, líquidos ou gasosos. Pesquisas indicam que 550 há de terra são perdidos anualmente no mundo todo por conta da atividade (DÄHNERT *et al.*, 2004). Assim, a desativação de um empreendimento minerário pode levar à constituição de *brownfields*, que são áreas abandonadas que foram afetadas por uso anterior, havendo perigo na sua reutilização pela presença de substâncias perigosas (solo intoxicado com químicos, pilhas de rejeito, aterros de resíduos tóxicos, tanques de pós-flotação, etc.).

Em geral, a reconversão de *brownfields* minerados requer um plano para uma nova e mais adequada utilização da terra, como emprego na agricultura, construções, instalação de uma área industrial, estúdios de filmes, museus, centros de turismo, parques temáticos, centros esportivos, instalações comunitárias ou locais para aterro sanitário (MERT, 2019). Quando em cidades, a recuperação de *brownfields* tem um papel fundamental: elas aliviam a pressão da expansão urbana desenfreada sobre os territórios verdes, contribuem para a regeneração de áreas marginais e auxiliam no sentido de tornar a cidade mais compacta, diminuindo custos de transporte (MERT, 2019). A reconversão de *brownfields* em regiões rurais, por outro lado, impõe desafios maiores do que o correspondente urbano, uma vez que os atores envolvidos carecem de financiamento, recursos humanos e experiência. Geralmente, há problemas relacionados ao título de posse, ao preço da terra, que é menor em decorrência da demanda reduzida, e há a disponibilidade de territórios que prescindem do desembolso para reconversão (SARDINHA, CRAVEIRO & MILHEIRAS, 2013).

Sardinha, Craveiro & Milheiras (2013) identificam na literatura sobre recuperação de *brownfields* 6 dimensões de sustentabilidade: reconversão ambiental, regeneração cultural, revalorização social, revitalização econômica, reforço da comunidade e reformulação estratégica. Por meio de um estudo de caso na Mina de São Domingos, Portugal, Sardinha, Craveiro & Milheiras (2013) distinguem ainda 14 conjuntos temáticos ou categorias envolvidas no redesenvolvimento de *brownfields*, diretamente relacionadas às dimensões de sustentabilidade. A Figura 1 sintetiza essas dimensões.

Figura 1. Dimensões de sustentabilidade na recuperação de territórios minerados



Fonte: baseado em Sardinha, Craveiro & Milheiras (2013).

Na dimensão da reconversão ambiental, três categorias foram identificadas: “qualidade ambiental”, “paisagem como espaço” e “biodiversidade”. O segundo conjunto temático, “paisagem como espaço”, diz respeito à paisagem como parte integrante do cotidiano da comunidade, que impõe resistência a qualquer medida que traga descaracterização paisagística, mesmo quando necessária para a recuperação ambiental. Esta categoria, remetendo à importância da herança material e imaterial da comunidade, também está inserida na dimensão de regeneração cultural. A regeneração cultural engloba ainda o conjunto temático referido

como “legado da identidade social”, que traz conotações ambíguas: o legado pode ser negativo, quando os locais apresentam um sentimento de perda em relação ao que foi a mina e o modo como o processo de fechamento se realizou, ou pode ser positivo, quando há o sentimento de forte conexão com a história da mineração. Na dimensão de revalorização social, há as categorias “segurança pública” e “habitabilidade local”, que, respectivamente, remetem à estabilidade geológica e ambiental do território e a desafios sociais como desemprego, envelhecimento populacional e desertificação. A dimensão da revitalização econômica engloba dois conjuntos temáticos: “território multifuncional”, que implica a necessidade do desenvolvimento de vários empreendimentos, em contraposição à dependência única do setor mineral, e “atividades econômicas motrizes”, isto é, foco especial naquelas com maior potencial de geração de renda, cujo exemplo típico é o turismo. Na dimensão do reforço da comunidade, duas categorias foram identificadas: “empoderamento comunitário” e “responsabilização institucional”. A primeira versa sobre a capacidade da comunidade em se organizar e coordenar as entidades locais; a segunda diz respeito a problemas de direitos de propriedade e a dificuldade em apontar responsáveis, o que é comum em *brownfields* rurais. Por fim, a dimensão de reformulação estratégica agrega três conjuntos temáticos: “planejamento integrado”, “estratégias de financiamento” e “competitividade territorial”.

Encontra-se na literatura vários exemplos de revitalização e reestruturação econômica de antigos territórios minerários ou industriais (AMOSHA *et al.*, 2018; MERT, 2019; SARDINHA, CRAVEIRO & MILHEIRAS, 2013; MEECH *et al.*, 2006; KLEMPA *et al.*, 2015). Na Alemanha, uma antiga mina *open-pit* na região de Senftenberg foi convertida em um parque de energia solar com capacidade de 166 MW. Mert (2019) afirma que a reconversão da mina de Senftenberg foi o primeiro exemplo de reutilização de um território minerário para gerar energia renovável, sendo o segundo em Adilcevaz, na parte leste da Turquia. Em 2013, as propriedades solarimétricas de Adilcevaz foram aproveitadas para converter 36 decares de pedreiras de areia em uma planta de energia solar. Cerca de 2.048 painéis solares foram instalados, com capacidade de geração elétrica para abastecer 189.000 residências na região (MERT, 2019). Em Kansas, nos Estados Unidos, uma antiga mina subterrânea de sal foi convertida em museu em 1999, realizando atividades turísticas como jantares e exposições. Além disso, parte das minas foi utilizada para cofres subterrâneos, e algumas seções ainda estão em operação (MERT, 2019).

Um exemplo mais dramático de reestruturação de uma região minerária é Elliot Lake, no Canadá. Entre 1950 e 1990, este município se desenvolveu para servir de comunidade

residencial para empregados da mineração de urânio, realizada por duas empresas, Rio Algom Limited e Denison Mines Limited. Na segunda metade da década de 1980, entretanto, a competição de concorrentes mais eficientes fez o principal cliente de urânio da região, Ontario Hydro, terminar os contratos, e o emprego rapidamente diminuiu nas duas empresas minerárias, até o fechamento definitivo em 1996. A cidade era totalmente dependente da renda advinda da mineração: em 1986, dos 17.984 habitantes, 4.858 eram empregados diretamente pela operação mineral, enquanto 3.962 eram empregados em empresas e repartições prestadoras de serviços à mineração (FARKOUH, 1999). Com o fechamento das atividades, esperava-se que até 1997 a cidade desapareceria, com emigração maciça — essas expectativas, entretanto, não se concretizaram.

Em 1987, foi formado por civis um Comitê de Desenvolvimento Econômico, buscando estratégias de diversificação, que foram adotadas pelo município a partir de 1990. O plano se baseava em três iniciativas: atrair aposentados para viver na região (*retirement living*), desenvolver o potencial para turismo e diversificar os pequenos negócios. Já em 1987, iniciou-se o Programa de *Retirement Living*, com a ideia de negociar o estoque de casas vazias das empresas de mineração para aposentados, que trariam para a comunidade seu fluxo de renda garantido e estabilizariam a economia local por meio de suas despesas. Em 1991, foi criada a *Elliot Lake Retirement Living*, uma organização sem fins lucrativos para adquirir as casas vacantes, por meio de subvenção provincial, gerenciar as propriedades e fazer *marketing* em Ontario. Os esforços da *Elliot Lake Retirement Living* se traduziram na injeção de 30 milhões de dólares canadenses na economia local anualmente, até 1997 (FARKOUH, 1999). Em 1991, o Departamento de Desenvolvimento Econômico conseguiu subvenções e o apoio de um programa federal de criação de emprego para investir na infraestrutura turística da região, que tinha grande potencial. Desde então, vários negócios se reorganizaram, expandiram ou surgiram da iniciativa de servir ao mercado de turismo emergente de Elliot Lake. Além disso, buscou-se ajudar as manufaturas estabelecidas na região a desenvolver novos produtos e mercados, por meio de programas locais objetivados para reduzir os custos de operação das firmas.

Em 1993, houve aumento nos subsídios, em grande parte de recursos pagos pela Ontario Hydro, para contrabalançar a redução da base tributária nos negócios e comércio. Essas transferências, em adição aos fundos de reserva que a cidade construía desde 1988, permitiram ao município retardar o aumento de impostos até que o sistema de taxas sobre usuários (*user fees*) pudesse ser expandido. Quanto às finanças municipais, Elliot Lake ensina que municípios que se sustentam numa única indústria devem mudar para o sistema de tarifas sobre usuários e

transferir superávits para formar fundos de emergência. Além disso, infraestrutura de qualidade contribui para o desenvolvimento econômico de forma mais efetiva do que a redução de impostos (ROBINSON & BISHOP, 1999).

Um exemplo de reestruturação econômica de um território industrial é Pittsburgh, nos Estados Unidos. Antes uma das maiores cidades siderúrgicas dos Estados Unidos, Pittsburgh apresentou forte declínio na participação da produção nacional, de 15% em 1978 para 3% em 2003. Com o fechamento de várias usinas, estima-se que a região perdeu 20 milhões de toneladas líquidas de aço em capacidade produtiva, queda mais intensa do que a sofrida pelos demais municípios estadunidenses líderes no mercado do aço — Chicago, Detroit e Cleveland (TREADO, 2009). Não obstante, Pittsburgh se tornou o centro nacional de provimento de tecnologia siderúrgica, com a maior concentração de firmas fornecedoras de insumos e serviços à indústria do aço e hospedando a sede de *mill builders*, corporações multinacionais de ponta cujo nicho de mercado são os empreendimentos envolvidos na instalação de usinas siderúrgicas (TREADO, 2009).

Treado (2009) aponta que o desenvolvimento do *cluster* tecnológico em Pittsburgh muito se deveu à tradição da região na indústria do aço, em especial, a três pontos fortes. Em primeiro lugar, a cidade de Pittsburgh está próxima das maiores regiões produtoras de aço, e o estabelecimento de uma indústria no *cluster* traz vantagens de rede, como a coordenação, entre os participantes, para projetos de grande escala capitaneados pelos *mill builders*. Em segundo lugar, o legado industrial e a reputação da região com *expertise* em tecnologia metalúrgica e siderúrgica, e como centro de engenharia de materiais. Tal reputação se consolida com a presença de duas universidades, com centros de pesquisa em aço no departamento de engenharia, e com várias organizações civis e profissionais relacionadas à siderurgia. Em terceiro lugar, o conhecimento técnico da mão de obra local, com proficiência na indústria do aço, tanto em decorrência do passado siderúrgico quanto dos centros acadêmicos de excelência na região. Assim, embora o desenvolvimento do *cluster* em Pittsburgh não tenha sido fomentado por políticas regionais específicas, pode-se dizer que houve o aproveitamento da base de conhecimento da região no processo de reestruturação econômica, beneficiando-se assim das sinergias e das capacidades dos atores regionais.

Outro caso de revitalização econômica de área mineral é Ostrava, terceira maior cidade da República Checa. Em 1991, mais da metade da força de trabalho era empregada no setor secundário, e destes, 85% na mineração de carvão, na indústria do aço ou em serviços de engenharia (NESPOROVA, 1998). Com a dissolução do bloco comunista, esperava-se

desemprego em massa e grandes conflitos sociais na esteira da reestruturação econômica, com o fim de subsídios e proteção à produção de carvão e de aço. Em resposta, em 1990 vários atores da região formaram uma organização de caráter civil, o Conselho Econômico e Social da Aglomeração de Ostrava-Karvina, com intuito de reunir os interesses de instituições regionais e discutir medidas para a recuperação e desenvolvimento. Em 1996, a organização contava com 82 membros institucionais, entre universidades, organizações de financiamento, sindicatos, além das municipalidades de Ostrava e Karvina. O grupo tinha 4 atividades principais: promover projetos de infraestrutura, recuperação ambiental e estímulo ao desenvolvimento regional; fortalecer a cooperação entre as instituições regionais; aumentar a cooperação internacional, com parcerias na Europa; e assistir as empresas da região, com ajuda em medidas para aumentar o capital humano (NESPOROVA, 1998). Uma saída foi o turismo: na região estão instalados o Parque Landek e a Mina de Anselm, o maior museu minerário da República Checa, ambos indicados para entrar na lista de Patrimônio Mundial da UNESCO. A região de Vítkovice, em Ostrava, recebeu cerca de 680.000 visitantes em 2013, atraídos por eventos sociais, como conferências internacionais e festivais de música (KLEMPA *et al.*, 2015).

O Vale do Ruhr, Alemanha, é historicamente associado à produção de carvão e ferro, que se estabeleceu ainda no século XIX. A partir da década de 1950, a competição com fontes mais baratas tornou a produção do Ruhr menos competitiva no mercado global, provocando o declínio econômico da região. Em 1989, visando remediar o cenário de decadência da sub-região do rio Emscher, o governo de North Rhine-Westphalia (NRW) adotou o programa “*International construction exhibition Emscher Park*” (IBA), com duração de 10 anos, para dar suporte a projetos individuais nas áreas social, cultural, ecológica e de infraestrutura (KLEMPA *et al.*, 2015). Para isso, a administração de NRW estabeleceu uma companhia de planejamento, que, ao longo da duração do IBA, lançou cerca de 120 projetos.

O principal objetivo do programa era recuperar o rio Emscher, que antes recebia esgoto a céu aberto, e criar um parque regional, englobando 17 cidades no entorno, que foram afetadas pela retração da produção industrial (SHAW, 2002). Além disso, o IBA promoveu a conservação de minas e instalações metalúrgicas para utilização turística e enaltecimento do passado industrial. Hoje, várias cidades se tornaram pontos turísticos, como Oberhausen, na qual um sítio fabril, fechado em 1988, deu lugar a um *hall* de eventos; Essen, que abriga o complexo minerário de Zollverein, declarado Patrimônio Mundial pela UNESCO em 2001, atualmente ponto focal da rota do turismo industrial; e Duisburg, que abriga um parque em território anteriormente utilizado para produção siderúrgica (ĆOPIĆ *et al.*, 2014). Segundo Ćopić *et al.* (2014, p. 48), o

sucesso turístico da região é comprovado pelo aumento de mais de 60% das estadias em hotéis entre 1990 e 2009.

Embora o turismo seja uma constante na literatura sobre reconversão territorial de antigas regiões mineradoras, pesquisas salientam que os resultados econômicos que o complexo turístico possibilita são limitados (CRAVEIRO, SARDINHA & MILHEIROS, 2013). De fato, a localização periférica das minas, em geral distantes dos circuitos turísticos tradicionais, impõe desafios em termos de acessibilidade e de infraestrutura adequada (FONSECA & RAMOS, 2011). Além disso, estudos mostram que apenas uma pequena parcela dos turistas é atraída para antigos sítios minerários, dada a especificidade da oferta (FROCHOT, 2005). Ademais, a escala do negócio leva a retornos econômicos limitados, o que podem causar dependência de subsídios e outros auxílios para a atividade, sem gerar renda relevante para a comunidade, e frequentemente os proprietários dos empreendimentos carecem de capacitação para adaptar os serviços às expectativas dos turistas (CRAVEIRO, SARDINHA & MILHEIROS, 2013). Esses problemas são exacerbados quando é o caso de a região precisar de maciços investimentos em restauração ambiental, para lidar com a degradação empreendida durante o passado minerário (CONESA, SCHULIN & NOWACKA, 2008).

Embora notoriamente conhecido e registrado pela literatura sobre o tema, cabe também citar resumidamente o caso da bacia minerária em Nord-Pas-de-Calais, no noroeste da França. Após mais de dois séculos de extração do carvão e realização de atividades metalúrgicas, a sequência de dois acidentes graves que provocaram a morte de uma dezena de trabalhadores, juntamente com a baixa dos preços das *commodities* minerais contribuíram para o encerramento antecipado da mineração na região. A partir daí, um processo complexo e com altos investimentos foi colocado em prática. Iniciou-se com um plano de recuperação que, alternando medidas de urgência com outras de médio prazo, visava a diversificação das atividades econômicas, por meio da ampliação da zona franca e de isenções fiscais e sociais. O processo envolveu cooperação próxima entre o Estado francês e instituições locais (COSTA & FERNANDES, 2013). Em 2012, a região foi reconhecida como Patrimônio Histórico pela UNESCO, em decorrência da importância da atividade minerária para a localidade e da forma como essa comunidade interagiu para valorizar sua herança minerária. No caso dessa bacia minerária, a participação popular, colaborativa convergiu com a atitude ativa da sua comunidade o que contribuiu fortemente para a reconversão produtiva. Há uma série de evidências, na documentação do processo de legitimação junto à UNESCO, do orgulho popular da herança minerária. Relato de alguns de seus cidadãos retrata a magnitude da interação da mineração

com a vida das pessoas e cultura de Nord-Pas de Calais: “Nossa terra não é feita de picos de granito ou de um mar de águas cristalinas. Em nossa terra o homem cavou, extraiu e construiu montanhas. A ideia de que a história dos mineradores é tão valiosa como a história de reis, pode mudar tudo.” Esse trecho, deferido durante a reunião de homologação da titulação pela UNESCO, retrata quão visceral foi a influência da mineração sobre a vida das pessoas e sobre o território, conferindo especificidades próprias à bacia minerária de Nord-Pas de Calais (UNESCO, 2020).

A mina de Britannia, em Britannia Beach, Canadá, é um exemplo adicional de reconversão de territórios minerários. O empreendimento, que explorava ouro e cobre, foi fechado em 1974, deixando diversos problemas ambientais, como vazamento de efluentes ácidos em um leito de rio próximo, contaminação do solo e disposição de depósitos de rejeitos. Em 1975, o Museu da Mineração de British Columbia abriu as portas como uma organização privada sem fins lucrativos, com 10% do orçamento financiado pelo governo. Em 1997 o governo provincial iniciou os projetos para remediação da área; o primeiro passo foi identificar as partes potencialmente responsáveis. Seis empresas foram convidadas a participar de um *workshop* de recuperação voluntário em 2000 e se comprometeram a pagar 30 milhões de dólares canadenses em troca da isenção de responsabilidades (MEECH *et al.*, 2006). Em 2001, o *Centre for Environmental Research in Minerals, Metals and Materials* da University of British Columbia instalou um laboratório no nível 2200 da mina para projetar a construção de uma contenção para selar os túneis da mina, fechando vazamentos de efluentes ácidos nos leitos de rios. Em 2003, várias organizações civis concordaram em participar de um *workshop* de planejamento coletivo, reunindo todos os interessados para projetar um futuro sustentável para Britannia Beach. Meech *et al.* (2006) afirmam que o elemento mais importante do experimento de revitalização da mina de Britannia foi o envolvimento da comunidade no processo de planejamento e tomada de decisão. Com confiança e o alcance de um consenso, é mais provável que o produto final seja aceito e seja adequado às necessidades dos indivíduos envolvidos.

Sardinha, Craveiro & Milheiras (2013) também ressaltam o envolvimento de atores locais nas fases de decisão e planejamento em planos de recuperação ambiental sustentável de regiões minerárias. Em primeiro lugar, eles podem ajudar na confecção de planos que melhor respondam às necessidades dos interessados, tendo maior chance de os mesmos serem aceitos. Em segundo lugar, a inclusão da comunidade oferece condições para desenvolver a integração de múltiplas perspectivas e criar um processo de aprendizado coletivo ou social. Por fim,

possibilita a criação de uma governança local, que reduz a incerteza do projeto de regeneração e fomenta investimentos privados.

Veiga *et al.* (2001) compartilham da visão de que é fundamental envolver a comunidade no processo de planejamento e tomada de decisão. Afirmam que é imprescindível, para atingir o caminho da sustentabilidade, que os membros da comunidade onde está instalado o empreendimento minerário sintam-se parceiros na tomada de decisões que afetem sua vida. Seria necessário assim estabelecer um sistema de governança local, que contemple não só atores políticos, mas as demais lideranças locais. Isso permitiria que a comunidade não crie falsas expectativas quanto aos investimentos minerários e possibilitaria mitigar os impactos do fechamento da mina. Dando escolhas aos membros comunitários, clarificando sobre os *trade-offs* envolvidos e desenvolvendo capacidades internas, comunidades vão ser mais capazes de responder a mudanças econômicas e terão uma resiliência de longo prazo. Veiga *et al.* (2001) ainda afirmam que é importante que as empresas minerárias vejam o EIA (Estudo de Impacto Ambiental) não apenas como uma formalidade burocrática, mas como um compromisso de estabelecer um gerenciamento ambiental. As empresas de consultoria socioambiental contratadas para realizar o EIA podem ajudar para que a comunidade tenha um melhor entendimento dos custos e benefícios e seja incorporada na tomada de decisões.

Os gestores do empreendimento mineral devem ter uma postura ativa: as companhias precisam pensar em como o desenvolvimento de uma nova mina pode trazer bem-estar e melhora socioeconômica para a região, de forma ambientalmente sustentável (VEIGA *et al.*, 2001). Como afirmam Veiga *et al.* (2001), melhorar a performance ambiental e mitigar os efeitos da mineração no meio-ambiente são requisitos necessários, mas não suficientes para garantir o bem-estar e a sustentabilidade social das comunidades próximas à mineração. Para isso, é necessária a adesão da comunidade a três requisitos fundamentais: sustentabilidade ecológica, viabilidade econômica e equidade social (VEIGA *et al.*, 2001). É preciso, antes da instalação da mina, que as autoridades públicas, os gestores da empresa e lideranças comunitárias se reúnam para traçar um plano de desenvolvimento sustentável que englobe o período posterior ao fechamento, para reduzir a incerteza dos impactos econômicos sobre a comunidade e para garantir efeitos líquidos positivos.

Cada um dos experimentos internacionais de reconversão produtiva citados anteriormente carrega traços próprios e elementos específicos do contexto sócio-político local, o que seria de préstimo limitado para a formulação de estratégias práticas para o desenvolvimento dos

territórios mineiros. Visando contribuir com essa discussão, a próxima seção traz dois paradigmas recentes de desenvolvimento local, que podem funcionar como eixos teóricos para a elaboração de políticas de reconversão produtiva das regiões estudadas nesta tese.

1.4. *Smart specialisation* e Complexidade como estratégia de desenvolvimento territorial

Esta seção versa sobre os principais elementos de dois paradigmas desenvolvimentistas que ganham atenção na literatura. Em primeiro lugar, é apresentado o conceito de *smart specialisation*, que emerge no debate europeu de políticas regionais de inovação e foca nas capacitações regionais e no maior envolvimento de agentes privados. Em segundo lugar, é feita uma breve discussão, que não se pretende exaustiva, sobre o tema de complexidade produtiva.

No âmbito das políticas regionais, *smart specialisation* é definida como o conjunto de estratégias locais de inovação que almejam desenvolver vantagens comparativas por meio de dois processos principais: elencar um pequeno número de áreas prioritárias relacionadas aos recursos tácitos da região, e conectar os esforços de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com as necessidades comerciais, com o que seria possível aproveitar oportunidades de mercado de forma coerente (AMOSHA *et al.*, 2018). O paradigma pretende superar as políticas de inovação tradicionais, que são criticadas pelo foco excessivo no investimento público, pelo pouco espaço deixado para a iniciativa privada, por serem aplicadas às regiões sem considerar o contexto local e pela inefetividade em gerar cooperação regional (FORAY *et al.*, 2012).

The underlying rationale behind the Smart Specialisation concept is that by concentrating knowledge resources and linking them to a limited number of priority economic activities, countries and regions can become — and remain — competitive in the global economy. This type of specialisation allows regions to take advantage of scale, scope and spillovers in knowledge production and use, which are important drivers of productivity. (FORAY *et al.*, 2012, p. 11)

As estratégias de pesquisa e inovação para *smart Specialisation* (RIS3) abordam o problema de priorização e alocação de recursos ao permitir que empreendedores regionais evidenciem quais as áreas mais promissoras para desenvolvimento futuro, através de um processo participativo. As RIS3 propugnam, portanto, que deveria haver mais envolvimento dos empreendedores regionais e mais incentivos para que eles se arrisquem (FORAY *et al.*, 2012).

Foray *et al.* (2012) elencam um esquema de seis passos em direção a implantação de estratégias de pesquisa e inovação para *smart specialisation* (RIS3). O primeiro é analisar o contexto regional e o potencial para inovação: é preciso reconhecer os ativos regionais, as vantagens comparativas, quando comparado internacionalmente, e o ambiente empresarial. A esse

respeito, o sucesso da diferenciação econômica dependeria de explorar “variedades relacionadas”, isto é, usar tecnologias e modelos de negócios que têm o potencial de diversificação, mas que surgem da similaridade da base de conhecimento e qualificação dos trabalhadores vigentes com outras indústrias que não estão atualmente interligadas com a corrente — similaridade esta que permitiria aprendizado interativo, transferência tecnológica e inovação (AMOSHA *et al.*, 2018).

O segundo passo é, no momento de definir as estratégias específicas, estabelecer uma sólida e inclusiva estrutura de governança que evite a captura da política por grupos de interesse (*rent-seeking*). O terceiro passo consiste na produção de uma visão compartilhada sobre o futuro da região. O quarto passo é a seleção de um número limitado de prioridades para o desenvolvimento regional, sendo que as mesmas sejam factíveis com os ativos e capacidades regionais. Além disso, secundariamente deve haver políticas de tipo horizontal, referindo-se à difusão e aplicação de tecnologias de uso geral, como nano- e biotecnologias, condutores e tecnologias de informação e comunicação, bem como inovações organizacionais e sociais (FORAY *et al.*, 2012).

O quinto passo é o estabelecimento de um *mix* de política adequado, coerente com a meta de inovação. O sexto passo é a integração de mecanismos de monitoramento e avaliação. Para isso, é necessário que os objetivos sejam estabelecidos na RIS3 em termos mensuráveis em cada nível de implementação, isto é, dos objetivos gerais aos específicos. Uma forma é a “revisão por pares”, permitida pela Plataforma S3. Por esse meio, representantes da região preparam a apresentação de suas estratégias na forma de um relatório modelo, participam de *workshops*, nos quais expõe sua estratégia, e enviam relatórios em 3 e 6 meses para o time da Plataforma S3 monitorar o progresso da região revisada (FORAY *et al.*, 2012).

Com escassas aplicações ao Brasil (BOSCH & BONORTAS, 2019; PINTO *et al.*, 2019), as estratégias de pesquisa e inovação para *smart specialisation* permanecem um tema ainda restrito à comunidade europeia. Não obstante, as perspectivas de sua aplicação para a reestruturação econômica de territórios minerários no país podem constituir uma solução para localidades decadentes cuja dependência em relação à renda mineral inviabilizou a diversificação produtiva.

Da mesma forma, o conceito de complexidade produtiva pode orientar a discussão da reconversão econômica de regiões mineradas. De acordo com o Hausman & Hidalgo (2014) há duas maneiras de analisar a natureza do processo produtivo de bens e serviços.

Tradicionalmente, a literatura econômica descreve capital (físico e humano), terra e trabalho como insumos necessários à produção. Mas, incorporado em um bem ou serviço, há o estoque de conhecimento e tecnologia pertencente ao agente econômico e local dos quais deriva a produção.

Nessa ótica, bens e serviços são bolsões de conhecimento. Para agregar conhecimento a um produto específico é necessário não somente tecnologia, mas também indivíduos ou organizações possuidoras do mesmo. Os mercados, por sua vez, permitem o acesso dos agentes ao estoque de conhecimento disponível em dado período de tempo.

O estoque de conhecimento possuído por uma sociedade não pode ser definido pelo conhecimento que cada indivíduo possui. Na verdade, o estoque de conhecimento está relacionado a diversidade do conhecimento possuído, bem como das habilidades dos indivíduos de combinar esse conhecimento, através das “*complex webs of interaction*” (HAUSMANN & HIDALGO, 2014, p. 12). Dessa forma, as sociedades modernas não se diferenciam das sociedades tradicionais em função do estoque de conhecimento produtivo individualmente e sim pela diversidade dos estoques de conhecimento produtivos possuídos pelos indivíduos que compõem a sociedade moderna. Essas sociedades são mais eficientes e dinâmicas, pois permitem aos seus membros se especializar e compartilhar o estoque de conhecimento acumulado total. A alocação de partes do estoque de conhecimento produtivo acumulado para indivíduos define as capacidades, permitindo que esses indivíduos desempenhem funções específicas dentro de uma sociedade.

Para produzir determinado produto é necessário utilizar mais conhecimento acumulado daquele contido em qualquer função específica, ou seja, envolve mais de um indivíduo no seu processo produtivo. Portanto, a produção de um produto significa a interação de diferentes indivíduos com diferentes capacidades. Mais ainda, o processo produto implica a articulação de duas formas de conhecimento: “*know how*” e “*know where*” (HAUSMANN & HIDALGO, 2014, p. 16). O primeiro termo pode ser entendido como o conhecimento dos indivíduos / organizações que sabem como produzir o produto e o segundo o conhecimento de onde esses indivíduos / organizações se localizam. Isso implica possibilidade de rigidez locacional no processo produtivo de determinados produtos. Não só a existência de um recurso natural, mas também a existência de certa capacidade, possuída por indivíduos ou organizações, pode limitar a produção de determinado produto em dada localidade.

O conceito de complexidade econômica, tal como descrito por Hausmann & Hidalgo (2014), se relaciona à multiplicidade do uso produtivo do estoque de conhecimento acumulado por uma sociedade. A existência e sustentabilidade de uma sociedade complexa exige que os indivíduos residentes, possuidores de capacidades especializadas, estejam habilitados a interagir entre si combinando seus conhecimentos específicos na geração de produtos. Tais produtos não poderiam ser produzidos em sociedade nas quais esse conjunto de capacidades está deficiente. Dessa forma, a complexidade econômica de um país é expressa pela carteira de produtos que ele produz e reflete as estruturas do estoque de conhecimento do mesmo.

Países não fazem os produtos dos quais precisam, mas sim aqueles que conseguem. Incorporados em cada produto produzido por um país está o conhecimento especializado dos indivíduos, bem como o conhecimento produtivo diverso, possibilitado por meio do *network* e interação dos indivíduos, organizações e suas capacidades.

Economias complexas são aquelas que conseguem possibilitar que uma grande quantidade de conhecimento diverso interaja através de um vasto *network* de indivíduos gerando um *mix* de produtos diverso e intensivo em conhecimento produtivo. Em contraposição, economias simples são aquelas caracterizadas por um *mix* de produtos limitado, contendo produtos simples, que demandam “*webs of interaction*” estreitas (HAUSMANN & HIDALGO, 2014, p. 15). Assim, o *mix* de bens que um país produz é a evidência empírica chave para determinar a complexidade da sua economia.

Recentemente, medidas de complexidade econômica têm sido amplamente utilizadas para discutir não só a dinâmica produtiva de países e entre países, mas também convergência de renda (HAUSMANN *et al.*, 2011; FELIPE *et al.*, 2012), prosperidade econômica (HAUSMANN & HIDALGO, 2011, 2014) e desenvolvimento econômico (HIDALGO *et al.*, 2007; HAUSMANN e KLINGER, 2007; FELIPE *et al.*, 2011).

O ponto central na discussão da complexidade, portanto, não está circunscrito às capacidades possuídas por uma localidade, mas se relaciona à habilidade de predição do crescimento econômico. Esse fato sugere que os países tendem a mover-se para um nível de renda compatível com seu nível de conhecimento produtivo acumulado. De acordo com Hausmann & Hidalgo (2014) o índice de complexidade econômica (ECI) explica 75% da variância do PIB *per capita* de países cujas atividades baseadas em recursos naturais representam até 10% do PIB. Para países nos quais as atividades extrativas representam mais de 10% do PIB, essa correlação é menos expressiva, indicando que países relativamente ricos em recursos naturais

podem ser ricos e pouco complexos ao mesmo tempo. Em outras palavras, os países relativamente ricos em recursos naturais são mais ricos do que o esperado, dado seu nível de complexidade.

A renda nacional tende a refletir o nível de complexidade econômica, mas, quando isso não acontece, há um retorno à tendência pela diminuição ou aceleração do processo de crescimento econômico. Isso por que a complexidade econômica reflete a capacidade do país de produzir bens cada vez mais sofisticados. Se a renda *per capita* de um país passa a não ser explicada pela sua complexidade, mas, pelo desempenho das atividades extrativas há a diminuição da participação relativa das indústrias nas exportações. Isso torna o país mais primário e dependente das vantagens comparativas em recursos naturais. Como consequência, o país pode ficar vulnerável a choques internacionais, caso não seja feita nenhuma política anticíclica, e seu nível de renda tende a retomar ao esperado de acordo com seu nível de complexidade econômica.

1.5. Síntese das principais contribuições

Este capítulo expôs as principais linhas teóricas norteadoras da discussão sobre desenvolvimento de territórios a partir de uma base extrativa minerária. Como apresentando, Hirschman (2013 [1977]) argumenta que as atividades mineradoras possuem limitados efeitos de encadeamento e baixa capacidade de fomentar outros setores. Da mesma forma, os autores da *staple theory* reconhecem que a princípio a exportação de produtos primários teve importância para economias com dotações inadequadas de fatores e atrasadas tecnologicamente, mas ao longo da história, houve sobre-concentração de renda no setor, com grandes obstáculos para seu transbordamento pela economia – o que, para North (1955), aconteceria naturalmente.

Tais elementos reiteram, assim, os impactos econômicos negativos que a mineração tem sobre os territórios em que ocorre, e a importância de se buscar alternativas de diversificação produtiva. Este capítulo também trouxe elementos para contribuir para a identificação dessas alternativas. Para os teóricos da sustentabilidade fraca, o ponto central consiste na determinação de políticas ótimas de uso da renda mineral para manter o bem-estar das gerações correntes e futuras. Nesse sentido, a criação de uma estrutura de governança para gerir a renda mineral, como fundos de investimento, seria essencial para o desenvolvimento de longo prazo desses territórios. Entretanto, no caso de regiões em que a mineração está ameaçada, outros elementos estão envolvidos, como a remediação do passivo ambiental, a constituição de um processo

participativo de replanejamento territorial, a busca por outras atividades econômicas, indicadas a partir das capacitações regionais, e a migração para cadeias produtivas de maior valor adicionado.

Essa discussão é primordial para Minas Gerais, uma vez que não foram adotadas medidas efetivas para limitar a dependência da atividade mineral e o setor está em crise no estado. Não foram estabelecidos fundos minerários e os recursos arrecadados com a exploração não foram adequadamente orientados para fomentar novas iniciativas econômicas. Acresce-se a isso que há regiões em que o futuro da mineração está ameaçado no curto e médio prazo, sem que se tenha, consolidado, um plano de reconversão produtiva local. Nesse sentido, esta tese visa avaliar os impactos econômicos da desaceleração da indústria extrativa minerária nos territórios mineiros e propor elementos para construir uma alternativa de desenvolvimento regional.

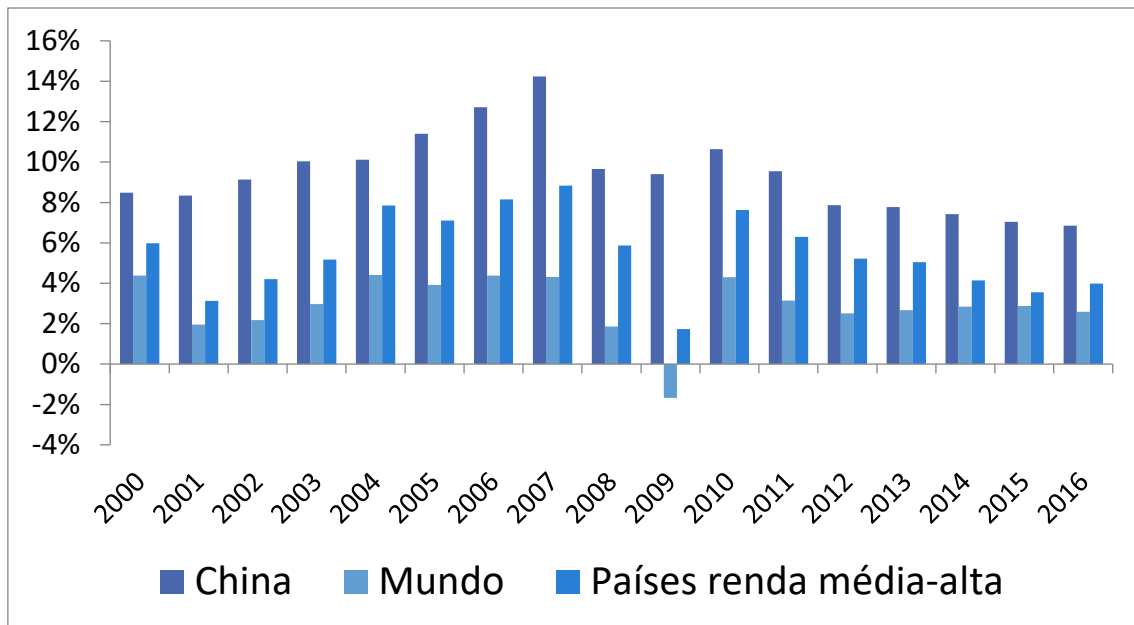
Capítulo 2. Dinâmica Produtiva do Minério de Ferro no Brasil

Este capítulo tem o objetivo de contextualizar a indústria extrativa, suas tendências recentes, e caracterizar sua configuração no território mineiro, espaço de análise desta tese. Para isto, a primeira seção discorre sobre o movimento, nas últimas duas décadas, de supervalorização das *commodities* minerais, bem como a fase recessiva subsequente do ciclo. A segunda seção apresenta as discussões de inovação no setor mineral e a adoção de novas tecnologias e processos de gestão de dados, motivadas por esse contexto internacional de *boom* e *bust* da mineração. Passando do plano internacional para o Brasil, a terceira seção descreve as mudanças recentes no código mineral brasileiro, em grande parte motivadas pelos impactos da dinâmica internacional do setor, ao passo que a quarta seção é devotada à apresentação de duas iniciativas, ainda em construção em Minas Gerais, orientadas para mitigar os efeitos da minero-dependência.

2.1. Superciclo e *bust* mineral

A primeira década do século XXI foi marcada pelo crescimento, sem precedentes em termos de duração e magnitude, da demanda por *commodities*, em particular pelos produtos minerais. Esse período foi marcado pelo processo de industrialização e urbanização de países em desenvolvimento, como a China e a Índia marcadamente, que significou uma elevação da demanda por *commodities* minerais. O Gráfico 1 evidencia o acelerado crescimento econômico das principais economias na década de 2000, marcadamente a China, que atingiu taxas de expansão de dois dígitos, e a posterior desaceleração em decorrência da crise de 2008.

Gráfico 1. Taxa de crescimento anual do PIB do mundo, da China e dos países de renda média-alta

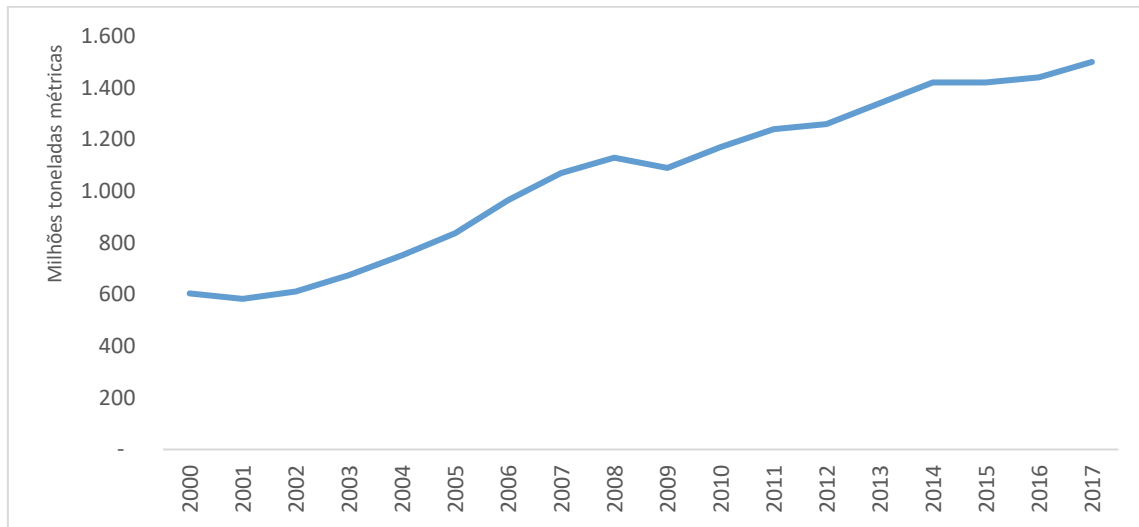


Fonte: World Development Indicators / Databank / The World Bank.

O aumento da demanda exigiu a expansão da oferta de produtos primários, que foi crescente ao longo de todo o período, como mostra Gráfico 2. Porém, como a capacidade produtiva das plantas minerais é fixa no curto prazo, isto é, como a oferta de produtos minerais, dado o tempo de implantação dos investimentos e do processo de licenciamento ambiental, responde lentamente à demanda, a década de 2000 presenciou aumentos consecutivos de preços⁹.

⁹ Na verdade, a oferta de minério de ferro foi crescente mesmo com retrações posteriores no preço, o que confere caráter peculiar ao comportamento da quantidade produzida, descolada dos ciclos de preço.

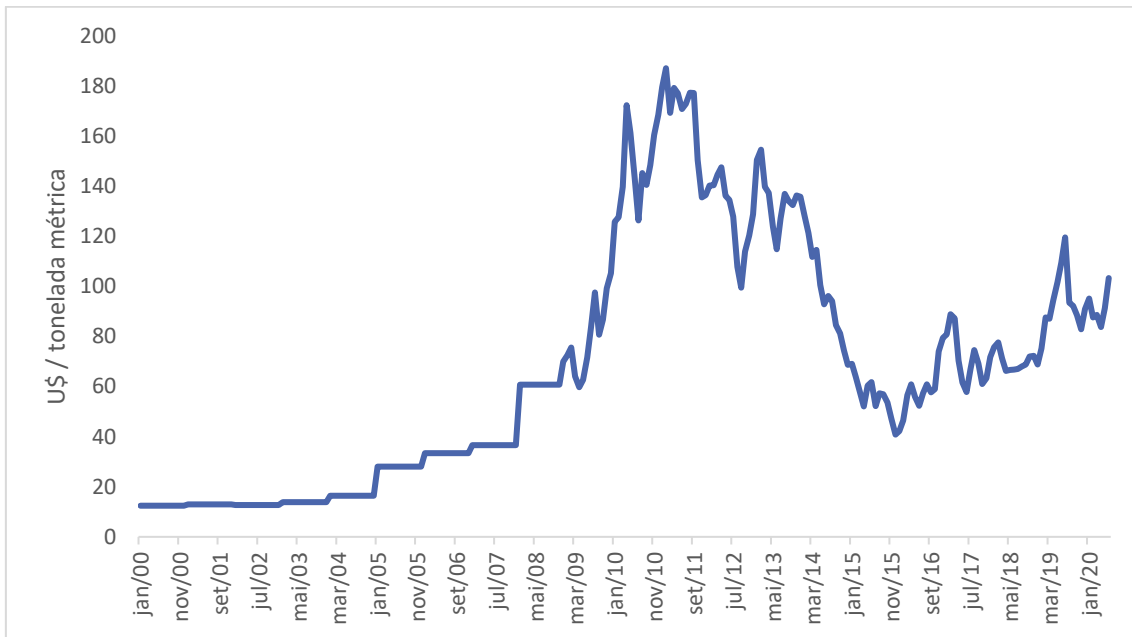
Gráfico 2. Produção mundial de minério de ferro, 2000 a 2017



Fonte: Iron Ore Statistics and Information / U.S. Geological Survey.

Entre os anos de 2003 a 2008, de fato, os preços reais das *commodities* minerais mais do que dobraram. Na esteira da crise financeira global, houve, em 2009, flutuações negativas sobre os preços desses bens, em reflexo da desaceleração do crescimento mundial e consequente diminuição da demanda. No entanto, os preços das *commodities* minerais se recuperaram rapidamente em 2010 e atingiram novos recordes no ano de 2011 (ERTEN & Ocampo, 2010). A dinâmica do preço do minério de ferro pode ser conferida no Gráfico 3, que evidencia a máxima histórica atingida em 2011.

Gráfico 3. Preço médio mensal do minério de ferro



Fonte: China import Iron Ore Fines 62% FE spot (CFR Tianjin port) / IMF Primary Commodity prices.

Esse fenômeno, conhecido como o superciclo da mineração, culminou em um expressivo fluxo de investimentos em pesquisa mineral, novos projetos e expansão das minas ativas em regiões mineradoras brasileiras. Em especial, Minas Gerais: o valor da operação mineral no estado aumentou de 9,5 para 30,7 bilhões de reais em 2000 e 2010, respectivamente, significando um crescimento real de 43,16% no período.

Contudo, a partir do ano de 2012, a tendência de alta dos preços das *commodities* minerais foi parcialmente revertida. Dentre os fatores que explicam o enfraquecimento do superciclo, estão a desaceleração da economia global, as alterações na matriz de consumo, em especial na China, e o estabelecimento de novas plantas mineradoras no continente africano e asiático, possibilitadas por avanços tecnológicos recentes que aumentaram a concorrência por investimentos, inclusive em minas com minérios de qualidade inferior. Apesar de flutuações de curto prazo, dificilmente os preços das *commodities* minerais atingirão nos próximos anos os índices alcançados ao final da década de 2000 (ERTEN & OCampo, 2010; NKURUNZIZA, 2015; THOMAS, 2015; LYNCH, 2015).

Somado ao término do *boom* de produtos primários, contribuem para um cenário de crise da atividade mineradora no Brasil, e em especial em Minas Gerais, a insegurança jurídica decorrente da demora na aprovação de um Novo Marco Regulatório, cujas discussões se delongaram de 2009 à atual data, a crise que se abateu sobre a economia nacional e,

principalmente, o rompimento de duas barragens de rejeitos de mineração no estado de Minas Gerais. Para além da onda de destruição e mortes causados por essas duas tragédias, várias empresas do setor minerador em Minas Gerais tiveram as atividades suspensas ou paralisadas, em decorrência da obrigação dos agentes minerários descomissionarem barragens de rejeitos a montante. Em especial, a Vale, responsável por cerca de 40% da produção de minério de ferro no estado (ANM, 2020b), anunciou, em abril de 2019, que o impacto da redução de suas atividades estaria estimado em 92,8 milhões de toneladas métricas por ano (VALE, 2019a). Considerando a relação custo-benefício da produção nas regiões mineradoras do estado, pautada pela baixa qualidade do minério e a idade avançada das minas, essa paralisação que, a princípio, tem caráter temporário, pode ser perpetuada de maneira perene. Além disso, o crescimento das operações de minério de ferro no Sistema Norte da Vale, estado do Pará, principalmente com o projeto S11D¹⁰, indicam uma tendência de deslocamento da produção nacional de ferro, esvaziando economicamente o estado de Minas Gerais (DOMINGUES *et al.*, 2020).

Em resposta a esse contexto internacional, acelerou-se a adoção de novas tecnologias nas diferentes fases dos empreendimentos minerários, com destaque para a busca de maior eficiência operacional. Além disso, a discussão quanto aos impactos ambientais da atividade motivou a busca por novos processos com menor risco e impacto para comunidades adjacentes, principalmente depois da repercussão dos acidentes com barragens alteadas a montante no Brasil. A próxima seção discorre sobre essas tendências.

2.2. Inovação e mineração 4.0

Embora a indústria mineral seja considerada como pouco inovadora, Daly, Valacchi & Raffo (2019) destacam que o setor presenciou um grande aumento nos indicadores de inovação ao longo da segunda metade da década de 2000, no contexto do *boom* mineral. No setor, houve mais pedidos de patente entre 2010 e 2015 do que no acumulado de 1970 a 2000. No que diz respeito ao ecossistema de inovação, as empresas de METS (Mining Equipment, Technology and Services) foram responsáveis por 2/3 das patentes analisadas por Daly, Valacchi & Raffo

¹⁰ O Projeto S11D, em Canaã dos Carajás, com início das operações previstos para 2015, irá produzir 90 milhões de toneladas de minério de ferro por ano, a partir de 2020. Esse montante equipará o Pará à Minas Gerais, em termos de share da produção nacional de minério de ferro. Contudo, o valor da operação paraense será superior à mineira, em função do teor elevado de suas reservas. O custo de operação também será inferior ao mineiro, devido inovações tecnológicas no processo extrativo e no arranjo logístico das minas paraenses. Trata-se de um projeto sem precedentes na mineração brasileira que opera com economia de 93% do uso de água, sem o uso de barragens de rejeito, completamente automatizado e poupador de mão de obra - utilizando apenas 1.993 postos de trabalho direto para produzir 90 milhões de toneladas de minério de ferro.

(2019), e os autores verificaram que, nos últimos anos, houve ampliação da participação de centros de pesquisa e universidades, em decorrência de programas financiados por empresas de mineração para estabelecimento de capital humano.

Para Durrant-Whyte *et al.* (2015), as perspectivas futuras para desenvolvimento da indústria extrativa mineral passam por aplicar as novas oportunidades tecnológicas para reduzir os riscos e a variabilidade de condições, que marcam o setor. A mineração é rodeada por incerteza: antes da conclusão das análises geológicas, desconhece-se a natureza do minério a ser explorado; em geral, o sítio localiza-se em território distante dos centros urbanizados; a pressão que as pedras exercem sobre os equipamentos pode levar a rupturas. Com a coleta e processamento automatizado de um elevado conjunto de dados de produção da mina, é possível adotar um sistema de monitoramento que permite realizar manutenção preventiva com maior eficiência. Isso evita danos de equipamentos e paradas de produção, além de induzir a um aumento geral da produtividade e vida útil do maquinário.

Nesse sentido, Durrant-Whyte *et al.* (2015) destacam que a tendência da mineração 4.0 é buscar tecnologias para reduzir a variabilidade tanto na tomada de decisões, por meio da incorporação de grandes fluxos de informação, quanto na execução, com operações mais centralizadas e mecanizadas. Os autores identificaram 5 áreas em que a aplicação das novas tecnologias pode trazer criação de valor. São elas:

- 1) Melhor entendimento da base de recursos. O empreendedor pode obter maior conhecimento acerca dos recursos minerais a serem explorados se combinar informações da modelagem geológica da jazida com dados coletados pelos equipamentos de perfuração e com técnicas estatísticas. Estas auxiliam a direcionar a perfuração para maximizar os ganhos informacionais acerca da jazida e podem aumentar a probabilidade da descoberta dos recursos.
- 2) Otimização dos equipamentos e fluxo de materiais. Dados em tempo real e melhores ferramentas analíticas permitem adotar decisões de planejamento que maximizem a utilização do equipamento e os rendimentos. Em especial, no *pit* da mina, é possível utilizar algoritmos que otimizem os movimentos da máquina, gerando maior fluxo de minério.
- 3) Antecipação de falhas. Em geral, os gestores de empreendimentos minerais usam menos de 1% da informação coletada pelos equipamentos de extração (DURRANT-WHYTE *et al.*, 2015, p. 7). Utilizar essa informação para estimar a probabilidade de falha de componentes específicos

ajuda a reduzir os custos de manutenção e evitar interrupções não planejadas que custam toneladas métricas de produção.

4) Aumento da mecanização através da automação. A automação oferece o potencial para reduzir custos operacionais, aumentar a disciplina e evitar acidentes de trabalho. Sistemas de transporte (*haulage*) ou de perfuração (*drilling*) autônomos já tem aplicação comercial e grande capacidade de economia de custos, a depender da configuração do *pit* e dos equipamentos. Além disso, estão sendo testadas tecnologias autônomas para detonação (*blasting*) e escavação (*shoveling*).

5) Monitoramento em tempo-real X plano. Uma Central de Operações mineral, corroborada por um sistema de coleta contínua de dados, pode dar resposta em tempo real e crescentemente ser capaz de tomar de decisões que otimizem as etapas de produção, levando em conta a inteira cadeia de suprimentos. Essa capacidade de *decision-making* permite melhorar os níveis de segurança, ao detectar desvios das condições esperadas das operações, e manter alta utilização dos equipamentos e baixos custos operacionais.

Relatório do BNDES aponta dois eixos principais de inovação na indústria extrativa mineral: automatização dos empreendimentos e adoção de operações sustentáveis na mineração (MESQUITA *et al.*, 2016). As grandes mineradoras apostam na integração e operação automatizada dos equipamentos da mina, a fim de ampliar a segurança e eficiência operacional. Os incentivos para adoção de tecnologias automatizadas são grandes pelo imperativo de reduzir a quantidade de trabalhadores no *pit* da mina e na operação mineral diretamente (MESQUITA *et al.*, 2016).

Na Austrália, a Mina de Pilbara, da Rio Tinto, engloba várias iniciativas nesse sentido. O sistema de transporte autônomo da mineradora é composto por mais de 130 caminhões operando por conta própria. Ao invés de um motorista, estes caminhões são controlados por um sistema de supervisão e uma central de controle, que conhecem localização, velocidade e direção em tempo real de todos os veículos. A automatização do processo implica que robôs poderão trabalhar por mais tempo que humanos, com menor risco de acidentes. Em 2018, cada caminhão operou, em média, 700 horas mais do que a frota convencional, apresentando redução de 15% nos custos. No mesmo ano, cerca de 1/3 da frota de Pilbara já era operada por caminhões autônomos (RIO TINTO, 2018). O Centro de Operações em Perth, uma das maiores cidades portuárias da Austrália, possibilita que todas as minas, portos e sistemas ferroviários sejam

operados a partir de um único local, o que amplia as oportunidades de experiência e melhoria geral da rede.

A mineradora também conta com um sistema automatizado de perfuração (*drilling*), com 26 brocas. Um funcionário, no centro de operações, controla as atividades de perfuração de forma inteiramente remota, e a instalação dos explosivos conta com dispositivos automáticos que usam sistemas de computadores e *data analytics* para determinar a quantidade certa para cada buraco (RIO TINTO, 2018). A melhoria possibilitou aumento do número de horas de operação e maior segurança para os funcionários da mina.

A Vale, na Mina de Brucutu, também busca adotar tecnologias automatizadas. No ano de 2019, a mina começou a operar exclusivamente com caminhões autônomos. Hoje, a frota soma 13 veículos, com capacidade de 240 toneladas cada. Os caminhões são controlados por sistemas de computadores, GPS, radares e inteligência artificial, e a monitoração é feita por operadores na central de controle, distante da mina. Sensores do sistema de segurança podem detectar pessoas próximas à rodovia e grandes objetos, e quando riscos são visados, o sistema de segurança paralisa o veículo até que o caminho seja liberado. Comparado ao sistema de transporte convencional, o sistema de operação autônomo apresenta maior tempo de vida do equipamento, menor custo de manutenção e maior produtividade (VALE, 2019b). A iniciativa exigiu US\$ 62 milhões em investimentos e seis anos de pesquisas e testes. Já no primeiro mês de operação do sistema, a empresa conseguiu aumentar em 26% o volume de minério transportado na mina de Brucutu (BATISTA, 2018).

Além disso, no empreendimento S11D, a Vale utiliza britadores móveis e correias transportadoras (*truckless*). No lugar dos 100 caminhões que seriam necessários para esta tarefa, uma estrutura composta de escavadeiras e britadores móveis extrai o minério de ferro e alimenta cerca de 30 quilômetros de correias transportadoras, que levam o produto até a usina de processamento. A substituição, além de diminuir a quantidade de resíduos, como pneus, filtros e lubrificantes, permite a redução de 70% do consumo de combustível. Em 2018 a capacidade do sistema era em torno de 55 Mtpa. A Vale tem planos para expansão do *truckless* para 100 Mtpa até 2022 (MOORE, 2018).

Já no que diz respeito à agenda para aumentar a sustentabilidade das operações minerais, Mesquita *et al.* (2016) identificam como tendência o investimento em tecnologias que possibilitem: a recuperação de minérios, aproveitamento e aglomeração de finos e ultrafinos; o reaproveitamento de resíduos e elementos dispersos, bem como processos para destinação

alternativa de uso; tecnologias de baixo risco ambiental para deposição de resíduos; redução ou eliminação de água utilizada nos processos minerais; e monitoramento de barragens.

Nesse sentido, em 2019 foi lançada a iniciativa *Climate Smart Mining: Minerals for Climate Action*. De acordo com Banco Mundial (2020), como tecnologias de baixo carbono – como painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas e instalações geotérmicas – são mais intensivas em minerais do que aquelas que utilizam combustíveis fósseis, segue que alcançar um futuro de baixo carbono envolverá um aumento substancial na demanda de determinados minerais e metais associados às tecnologias verdes. Mesmo que a reciclagem e reuso de minerais desempenhem um papel chave na redução das emissões, principalmente no caso de alumínio, a mineração ainda será necessária para ofertar os minerais críticos para produzir as tecnologias de baixo carbono.

A iniciativa de *Climate Smart Mining* (CSM) visa auxiliar países em desenvolvimento ricos em recursos minerais a se beneficiarem do aumento da demanda, ao mesmo tempo que garantindo que o setor minerador seja gerenciado de forma a minimizar o risco ambiental e a pegada climática. Sem práticas de CSM, os impactos negativos das atividades mineradoras vão crescer, afetando comunidades já fragilizadas em países em desenvolvimento, bem como o ambiente em que operam (WORLD BANK, 2020).

Em maio de 2019 o Banco Mundial lançou um fundo dedicado a fomentar iniciativas de *climate smart mining* nos países em desenvolvimento. O investimento total será de US\$ 50 milhões para ser implantado em cinco anos. O Banco Mundial espera que o fundo apoie vários tipos de projetos, como: a integração de energia renovável nas operações de mineração; o uso de dados geológicos para uma melhor compreensão das dotações de “minerais estratégicos” (lítio, grafite, cobalto, terras raras); a prevenção do desmatamento e criação de práticas sustentáveis de uso da terra; a reciclagem de minerais; e a assistência aos governos que desejam construir uma estrutura robusta de políticas. O fundo é apoiado até agora pela Rio Tinto, pela Anglo American e pelo governo alemão (WORLD BANK, 2019).

Dentre as tecnologias minerárias alinhadas com os objetivos gerais da sustentabilidade, destaca-se o sistema de beneficiamento a umidade natural do S11D, que diminui o consumo de água em 93%, além de reduzir o gasto de energia elétrica (VALE, [S.I.]). Como o minério extraído tem alto teor de ferro, o aumento na aceleração no peneiramento permite a separação das impurezas, mesmo que o minério esteja úmido por conta da chuva. Ou seja, não se aplica água na separação, nem há geração de rejeito em forma de polpa do minério ultrafino. O processo

prescinde, portanto, de barragem de rejeitos. O ultrafino de minério, que iria ser disposto em barragem de rejeitos, não será descartado, mas reaproveitado para produção, o que permite que 300 milhões de toneladas sejam incorporadas ao longo da vida útil da mina. (VALE, [S.I.]).

No Sistema Norte (Pará), cerca de 80% das quase 200 milhões de toneladas produzidas em 2018 foram através de processamento a seco, com destaque para as plantas de tratamento de Serra Leste (Curionópolis) e do S11D (MACHADO, 2019). O método de beneficiamento a umidade natural tem difusão limitada, por depender de alto teor do minério. Em Carajás, o teor de ferro é elevado, acima de 64%, enquanto em Minas Gerais o teor médio é de 40%. As usinas que operam a seco em MG dependem da disponibilidade de minérios com teores mais altos (em torno de 60%), ainda encontrados em algumas minas do estado. (MINERE, 2019). O processamento a seco está presente nas unidades de Brucutu, Alegria, Fábrica Nova, Fazendão, Abóboras, Mutuca, Pico e Fábrica, embora com escala reduzida. Em 2018, este tipo de beneficiamento era empregado em 32% das operações da Vale no estado, contra participação de 20%, em 2016.

Para reduzir a utilização de barragens, a Vale planeja investir, entre 2020 e 2023, R\$ 1,5 bilhões na implementação de tecnologias de empilhamento de rejeito a seco em Minas Gerais. Em 2011, a Vale desenvolveu um projeto piloto na pilha Cianita, em Vargem Grande, investindo R\$ 100 milhões. Os estudos foram concluídos em 2018, e os próximos testes serão aplicados em escala industrial na mina do Pico, em Itabirito (MACHADO, 2019).

Neste ano, a Vale inaugurou em Minas Gerais uma planta-piloto de concentração magnética de minérios de baixo teor de ferro, sem uso de água. A tecnologia foi desenvolvida pela New Steel, empresa comprada no fim de 2018. A planta piloto, que custou US\$ 3 milhões, foi instalada no Centro Tecnológico de Ferrosos em Nova Lima (CONEXÃO MINERAL, 2020). A planta terá a capacidade de concentrar 30 toneladas por hora de minério a seco, utilizando a tecnologia de separação magnética, feita por meio de ímãs de terras raras. A New Steel consegue entregar um concentrado de até 68% de teor de ferro, a partir de minérios pobres. Com a tecnologia, os rejeitos serão empilhados, e não mais depositados em barragens depois da flotação (CONEXÃO MINERAL, 2020).

A esse respeito, o Grupo Weir oferece tecnologias alternativas para o gerenciamento dos subprodutos da mineração. Dentre as soluções da empresa, estão equipamentos para retirar a umidade dos rejeitos (*dewatering*), o que reduz o volume da lama e aumenta a estabilidade de estruturas de disposição (como barragens). A firma possui uma planta piloto em Melbourne, na

Austrália, onde testa métodos de *dewatering* para diferentes amostras de rejeitos, objetivando a encontrar as melhores práticas para cada projeto. Outra solução é a utilização dos subprodutos para a fabricação de concreto e estruturas de suporte, permitindo seu reaproveitamento econômico.

Além disso, o grupo pesquisa novas tecnologias para minerar os rejeitos, com recuperação do conteúdo mineral, e as técnicas já são aplicadas em minas de ouro no norte da Austrália. Existe interesse, em especial, na mineração de pilhas e barragens antigas, cujo teor de minério pode ser considerado viável economicamente hoje, ou o aproveitamento de metais que antes não eram aproveitáveis, como o lítio, de vasto emprego na produção de energia renovável.

Discutidas a dinâmica global da mineração nas últimas duas décadas e as principais tendências tecnológicas, a próxima seção passa do contexto internacional para o nacional, trazendo os principais pontos que nortearam as discussões sobre a reforma do marco legal minerário. Além disso, também discute as mudanças legislatórias que foram efetivadas no biênio 2017-2018, buscando introduzir, assim, o *framework* de governança vigente no setor, e as deficiências para engendrar um verdadeiro processo de desenvolvimento sustentável.

2.3. Regulação da mineração no Brasil

Em 2001, pesquisadores do Banco Mundial publicaram o documento “*Large Mines and the Community: Socioeconomic and Environmental Effects in Latin America, Canada, and Spain*”. O relatório traz estudos de caso de 7 minas no Chile, Colômbia e Peru, além de 3 análises de empreendimentos minerais no Canadá e Espanha. No estudo, os autores buscam identificar as melhores práticas – na perspectiva da comunidade que hospeda o empreendimento mineral – de gerenciamento das fases de implantação, operação e fechamento de uma mina, prestando atenção particular ao desenvolvimento socioeconômico sustentável. (WORLD BANK, 2001, p. 1).

Uma das conclusões do estudo foi que a operação mineral frequentemente estaria associada a benefícios sociais e econômicos para as comunidades locais, mas que esses benefícios não surgiram automaticamente. (WORLD BANK, 2001, p. 32). As análises de caso corroboraram a conclusão de que a sustentabilidade estaria estritamente relacionada à participação local das comunidades nas decisões que as afetam. O objetivo final da assistência da firma mineral, assim, deveria ser fortalecer a governança local e a capacidade da comunidade de formular projetos (WORLD BANK, 2001, p. 33). O documento influenciou a reformulação da política

mineral em vários países. Em especial, norteou a elaboração, no Brasil, do Plano Nacional da Mineração.

O Plano Nacional de Mineração 2030, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia entre 2007 e 2011, consiste num conjunto de análises, diagnósticos e planos para o setor mineral, objetivando nortear políticas para o desenvolvimento da indústria minerária brasileira nos 20 anos seguintes (2010 a 2030). O plano traz diagnósticos da atividade mineradora, perspectivas de demanda e investimentos nas duas décadas seguintes, identificação das cadeias produtivas minerais no Brasil, e apresenta, dado o cenário traçado, 11 objetivos estratégicos e as ações necessárias para alcançá-los. A Figura 2 traz os 11 objetivos estratégicos contidos no Plano Nacional da Mineração.

Três diretrizes formam os pilares do plano. Em primeiro lugar, governança pública eficaz para atrair investimentos e promover o uso dos bens minerais no país. Em segundo lugar, agregação de valor e adensamento de conhecimento nas etapas do setor mineral, com estímulo à expansão de cadeias produtivas. Por fim, sustentabilidade como premissa, pelo incentivo a atividade que propicie ganho líquido à geração presente e por um legado positivo às gerações futuras (MME, 2011).

Figura 2. Objetivos estratégicos Plano Nacional da Mineração



Fonte: retirado de MME (2011).

O PNM 2030 foi desenvolvido com o objetivo de dimensionar as questões ambientais e socioeconômicas e direcionar esforços para a sustentabilidade dos territórios minerários, para além da vida útil das jazidas minerais, seja por meio do fechamento adequado das minas, seja por meio da reconversão tecnológica dos territórios minerários. No momento de sua elaboração, havia grandes expectativas sobre a expansão do setor mineral e, conseqüentemente, as possibilidades de desenvolvimento decorrentes. No entanto, as propostas e direcionamentos contidos no PNM não se efetivaram. Enquanto o plano previa um crescimento esperado do PIB de 5,1% ao ano, após 2012 tanto a economia brasileira quanto o desempenho da atividade minerária desaceleraram. Além disso, as modificações legislatórias chamadas pelo Plano Nacional da Mineração não foram pautadas, em especial aqueles referentes à sustentabilidade dos territórios minerados (NAHAS *et al.*, 2019a).

Em 2013, dois anos depois da publicação do Plano Nacional da Mineração, houve a apresentação formal da proposta de um Novo Marco Regulatório Minerário com o Projeto de Lei nº 5.807/13, pelo relator Leonardo Quintão. Dentre as propostas do projeto, constaram o

aumento das alíquotas (para até 4%) e alteração na base de cálculo da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), e a revisão de procedimentos e requisitos para a concessão dos direitos minerários, com ampliação do tempo de pesquisa. Além disso, o projeto previa a substituição do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), pela Agência Nacional de Mineração (ANM). Cabe ressaltar o descasamento do Projeto de Lei nº 5.807/13 com as diretrizes de sustentabilidade contidas no Plano Nacional da Mineração 2030. Nesse sentido, Ferreira (2013) afirma que o novo Código Minerário não incorpora as novas perspectivas de desenvolvimento sustentável e já nasceu velho.

O projeto evoluiu com baixa celeridade, tendo recebido 372 propostas de emendas legislativas. Foi requerido sua inclusão na pauta do plenário da Câmara em duas ocasiões, dezembro de 2013 e junho de 2014. Entretanto, as discussões e análise sobre o Novo Marco foram paralisadas em virtude do rompimento da Barragem do Fundão, em novembro de 2015. A demora na formulação e aprovação de um novo marco regulatório representaram oportunidade perdida de promoção do desenvolvimento sustentável dos territórios minerários brasileiros, por meio da maior apropriação e eficiência no uso da renda mineral, num contexto de *boom* mineral (NAHAS *et al.*, 2019a).

As iniciativas para reformular a política mineral brasileira reiniciariam apenas no governo Michel Temer, com a elaboração de uma agenda positiva para o setor, motivada pela desaceleração da atividade mineral. Diferentemente do tom intervencionista do PNM 2030, essa nova fase foi marcada pelo posicionamento do governo a favor da abertura de capitais, investimentos externos e redução do peso do Estado na economia. As propostas de atualização se deram por meio das medidas provisórias 789/2017¹¹, 790/2017¹² e 791/2017¹³ e o Decreto-Lei nº 9.406/2018, consolidados na Política de Revitalização Mineral.

A Lei nº 13.540 (MP 789/2017) promoveu alterações relevantes na incidência, na base de cálculo, nas alíquotas e na repartição da receita da CFEM¹⁴. Enquanto a legislação mineral anterior definia o cálculo da CFEM sobre o faturamento líquido, com a nova lei a CFEM passou

¹¹ Posteriormente, Lei nº 13.540/2017.

¹² Perdeu vigência sem ter sido votada.

¹³ Aprovada como Lei nº 13.575/2017.

¹⁴ A Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais era prevista na Constituição Federal de 1988, e foi estabelecida pela Lei nº 7.990/1989, que vedava a aplicação de recursos para despesas de pessoal e pagamento de dívidas (com exceção de dívidas com a União e suas entidades). Posteriormente, a Lei nº 8.001/1990 passou a especificar a base de cálculo, a taxa a ser cobrada por tipo de substância extraída e a distribuição da CFEM entre entidades federativas. Segundo a mesma, a base de cálculo seria o faturamento líquido, subtraído impostos e despesas com transporte e seguro do recurso mineral.

a ser computada com base na receita bruta, deduzidos apenas os tributos sobre a comercialização (e não mais podendo deduzir despesas de frete e seguro dos bens minerais). Houve ampliação das hipóteses de incidência da CFEM e alteração da base de cálculo de cada uma, e a mineração dos rejeitos passou a ser fator tributado. As alíquotas também foram atualizadas; a Tabela 1 traz as diferenças entre o praticado antes da Lei e depois da sua vigência.

Tabela 1. Alíquotas de minerais antes e depois da Lei nº 13.540

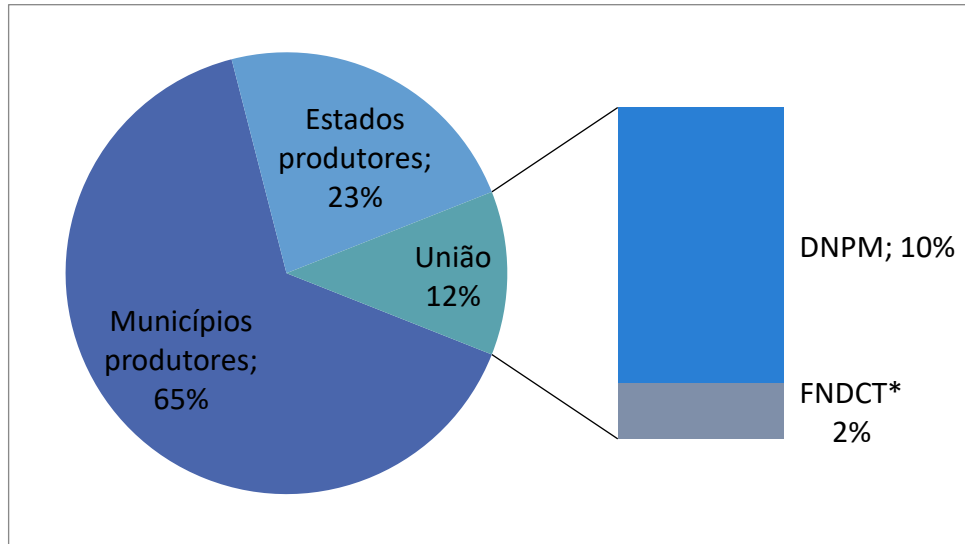
Substância	Antes da Lei nº 13.540	Com a Lei nº 13.540
	% Sobre faturamento líquido	% Sobre receita bruta
Nióbio	2%	3%
Ouro	1%	1,5%
Minerais de uso imediato na construção civil	2%	1%
Água	2%	1%
Minério de ferro	2%	3,5% *
Bauxita, manganês, sal-gema	3%	3%

Fonte: Brasil (2017). * Possibilidade de redução para 2%, conforme Decreto.

Além disso, a Lei estabeleceu novos percentuais para a distribuição de CFEM aos entes da federação e incluiu um novo critério: municípios afetados pela atividade de mineração, embora a produção não ocorra em seus territórios. Os municípios não-produtores seriam ditos afetados pela atividade mineral se cortados pelas infraestruturas utilizadas para o transporte das substâncias minerais; se afetados pelas operações portuárias; ou se neles se localizem pilhas de estéril, barragens de rejeitos ou instalações de beneficiamento de substâncias minerais. Como o Gráfico 4 evidencia, o montante distribuído a municípios e estados produtores e a órgãos do executivo federal foi diminuído, para alocar a transferência a municípios não-produtores afetados, que passam a receber 15% dos recursos.

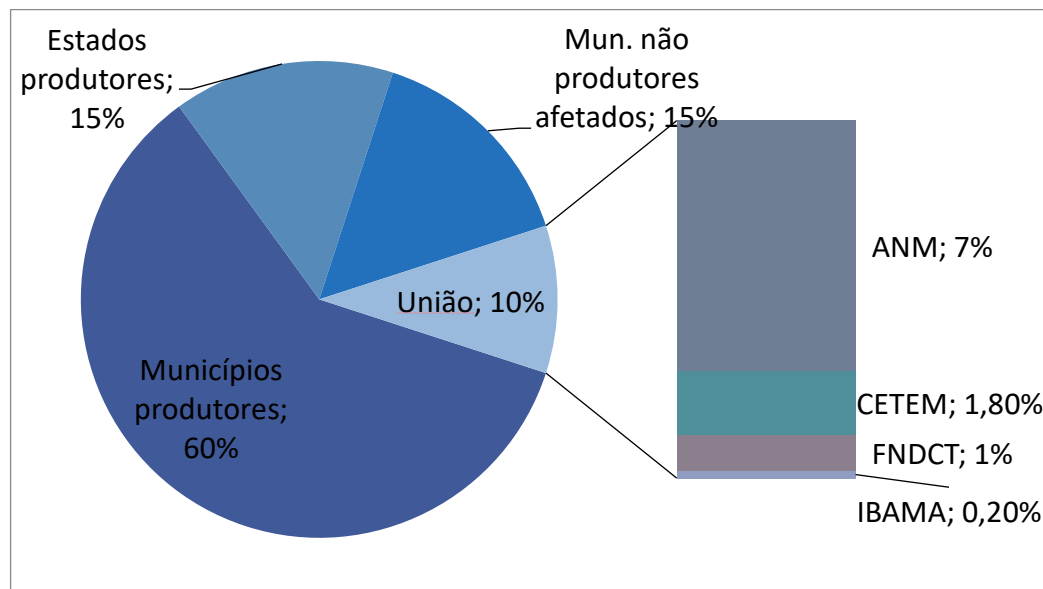
Gráfico 4. Distribuição da CFEM antes e depois da Lei nº 13.540

a) Distribuição antiga da CFEM (Lei nº 8.001/1990)



* FNDCT significa Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

b) Distribuição nova da CFEM (Lei nº 13.540/2017)



Fonte: Brasil (2017).

Posteriormente, o Decreto nº 9.407 / 2018 estabeleceu critérios para distribuição da parcela de 15% da CFEM entre os municípios impactados pela mineração ou pelos quais passa infraestrutura associada a empreendimentos minerais. O Decreto reservou 2%, dos 15%, para os municípios gravemente afetados pela perda de receita da CFEM com a edição da Lei nº

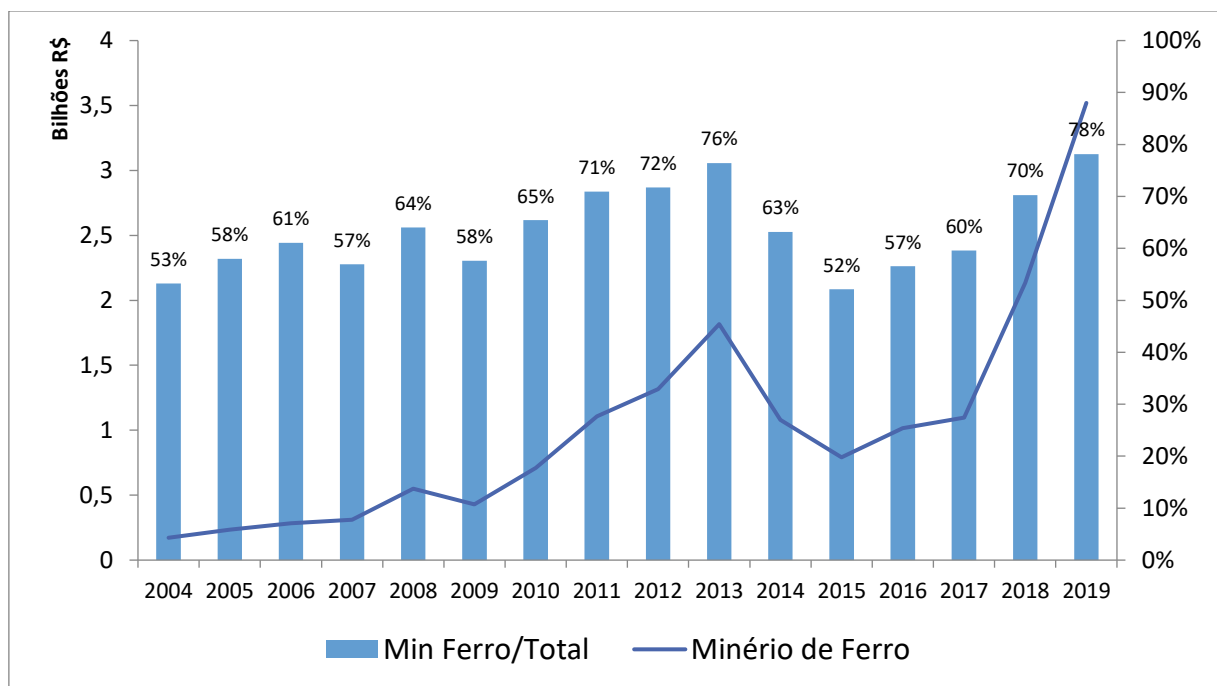
13.540/2017, isto é, no caso em que a participação das receitas provenientes da CFEM corresponder a pelo menos 0,3% da Receita Corrente Líquida do município e a redução na receita proveniente da CFEM tiver sido igual ou superior a 30%. Os demais municípios que ainda se enquadram como afetados pela atividade de mineração, mas sem produção, passam a arrecadar apenas 13%.

No ano de 2019, os municípios afetados pela mineração de Minas Gerais receberam R\$ 222 milhões. Valor esse que foi repassado via Associação de Municípios Mineradores de Minas Gerais (AMIG) aos municípios beneficiados, em função de valores retidos entre o período junho/2018 a abril/2019.

Arrecadação de CFEM no Brasil

A série histórica do recolhimento de CFEM permite acompanhar a evolução de seu valor, desde 2004, a partir dos dados publicados no Sistema Arrecadação, ANM. O Gráfico 5 permite visualizar a série. É nítida a representatividade do minério de ferro, enquanto *commodity* responsável pela maior parcela de arrecadação de CFEM. Em 2015, ano base do modelo utilizado nessa tese, a extração de minério de ferro respondeu por 52% da arrecadação de CFEM brasileira.

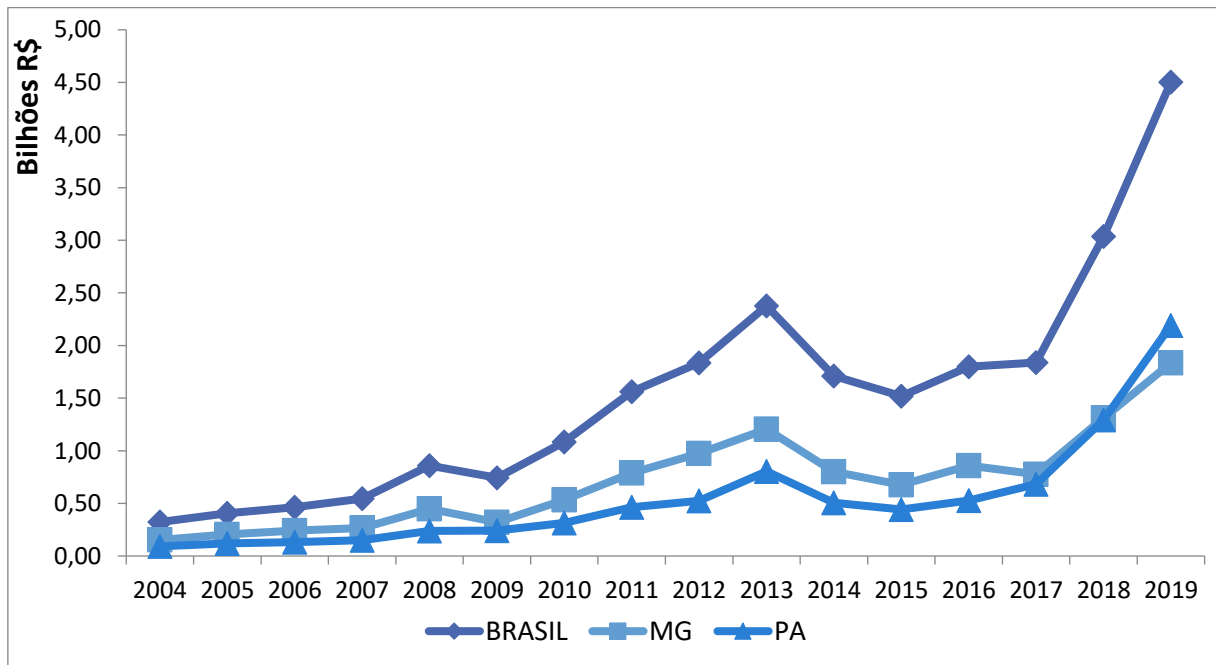
Gráfico 5. Arrecadação de CFEM no Brasil, 2004 a 2019



Fonte: Maiores Arrecadadores CFEM, ANM (2020b).

A arrecadação de CFEM no Brasil totalizou R\$ 1,5 e R\$ 4,5 bilhões em 2015 e 2019, respectivamente. O aumento da CFEM entre esses anos está associado, principalmente, ao incremento do preço internacional do minério de ferro e a mudança de legislação, 2018, dado que a variação da produção brasileira foi diminuta no período. O estado de Minas Gerais arrecadou R\$ 800 milhões e R\$1,7 bilhões de CFEM, entre os anos de 2015 e 2019. O estado do Pará arrecadou R\$ 495 milhões e R\$ 2,3 bilhões de CFEM, nos mesmos anos, como discrimina o Gráfico 6, e ultrapassou Minas Gerais em 2019, devendo manter a dianteira nos próximos anos.

Gráfico 6. Participação de Minas Gerais e do Para na Arrecadação de CFEM no Brasil, 2004 a 2019



Fonte: Maiores Arrecadadores CFEM, ANM (2020b).

Criação da Agência Nacional de Mineração (ANM)

A Lei nº 13.575/17 (MP 791/2017) criou a Agência Nacional da Mineração (ANM) e extinguiu o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Havia a visão de que o DNPM funcionava como órgão meramente fiscalizador, com gargalos burocráticos. A ANM herdou do DNPM as competências e quadro de servidores, porém com o escopo de otimizar e modernizar a gestão dos recursos minerais.

A estrutura organizacional da ANM passaria a contar com independência administrativa, ausência de subordinação hierárquica e mandato fixo dos dirigentes. São competências da ANM a criação de normas regulatórias, fiscalização das empresas mineradoras com direito de lavra,

arrecadação da CFEM, arrecadação da taxa anual por hectare (sua principal fonte de receita) e a divulgação das informações fornecidas pelas empresas (DIAS & FRATTARI, 2020).

A criação da ANM como agência de regulação com maior autonomia decisória tratou de introduzir no setor minerário a mesma modificação institucional realizada no setor energético, em que foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

O Decreto-Lei nº 9.406/2018 é reconhecido como Regulamento do Código de Mineração. Dentre as modificações incluídas pelo Decreto-Lei, destacam-se a criação de obrigações adicionais para a concessão de lavra; a inclusão expressa do fechamento de mina como uma das fases que compõe a atividade minerária; a previsão de responsabilização do minerador pela recuperação de áreas degradadas; e possibilidade de disponibilizar, em leilão eletrônico, área desonerada e aquela decorrente de qualquer forma de extinção do direito minerário.

2.4. Iniciativas de desenvolvimento sustentável em Minas Gerais

Dadas as limitações do novo código mineral no que diz respeito à sustentabilidade e à gestão dos recursos da CFEM em prol da diversificação produtiva, esta seção discute dois projetos que visam mitigar os efeitos da dependência e vulnerabilidade econômica. A primeira iniciativa, Transição Justa, encontra oportunidades de desenvolvimento associadas ao *Climate Smart Mining*. A segunda, Programa Reversão Produtiva de Territórios Minerados, busca implementar uma agenda estratégica para 7 territórios mineiros, objetivando a diversificação da estrutura econômica.

2.4.1. Iniciativa Transição Justa

A Fundação Getúlio Vargas, o grupo FGV Europe, o Consulado Geral da Alemanha e o Ministério Federal das Relações Exteriores da Alemanha, em conjunto com o Governo do Estado de Minas Gerais, anunciaram, em 2019, a iniciativa de cooperação técnica bilateral “Rumo a uma Transição Justa: uma oportunidade para Minas Gerais”¹⁵. O objetivo da iniciativa é fomentar o diálogo e compartilhar conhecimentos sobre oportunidades e desafios na implementação de uma transição sustentável e justa em Minas Gerais, a partir do aprendizado acumulado pelas experiências alemãs. Espera-se também identificar potenciais de cooperação entre Minas Gerais e Alemanha para implementar projetos em territórios de mineração no

¹⁵ Informações colhidas no site da organização. Disponível em: De acordo com informações disponíveis no *site* <https://eventos.fgv.br/transicao-justa>. Acessado em: 05 mar. 2021.

estado. A transição justa, vivenciada nas regiões alemãs Vale do Ruhr e Lusatia, pode contribuir ao entendimento de alternativas desenvolvimentistas para regiões de mineração de Minas Gerais.

A indústria extrativa mineral tem um papel crucial no processo de “transição justa”. Isto é, se por um lado, a transição justa pede uma redução do uso das fontes não renováveis, por outro lado a implementação de fontes renováveis necessita de materiais oriundos da atividade minerária. Deste modo, inevitavelmente haverá aumento da demanda por *commodities* minerais. Estudo do Banco Mundial (2017), *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*, delimita a aceleração na implantação de tecnologias baixo carbono, energia eólica e solar. Isso impactará o mercado de *commodities*, para além da intensificação do uso de materiais raros, como índio e neodímio, mas também matérias primas como o alumínio, cobre, prata, bauxita, ferro, chumbo e outros minerais.

Nessa linha de raciocínio, o papel dos países em desenvolvimento e emergentes no que tange ao fornecimento de insumos minerais será crucial. Porém, para tanto, será necessário que os países em desenvolvimento se preparem para responder ao aumento da demanda de mineração de forma sustentável, adotando práticas que minimizem a pegada de carbono e de extração de materiais de maneira a adequar-se a tendência *Climate Smart Mining* (CSM).

Cabe ponderar, entretanto, que a “divisão internacional do trabalho” implícita nas discussões acerca da CSM não é isenta de críticas. Young & Lustosa (2003) veem nessa nova relação uma manutenção de elementos da dicotomia centro-periferia, como discutidos por Prebisch e pela tradição cepalina. Se no modelo tradicional de centro-periferia aos países da “periferia” caberia importar bens manufaturados e produzir matérias primas brutas para os países do “centro” – isto é, países que dominam o progresso técnico –, na nova relação a periferia passaria a exportar *commodities* manufaturadas de baixo conteúdo tecnológico e intensivas em recursos naturais, ao passo que importaria tecnologias verdes desenvolvidas no centro. Isto é, a mesma relação centro-periferia estaria agora mascarada por objetivos sustentáveis.

Além disso, os países ricos exportam para a periferia os problemas ambientais. Isso porque, com o maior conhecimento dos impactos ambientais decorrentes do processo produtivo, os movimentos sociais nos países do centro passaram a pressionar seus governos por banir atividades poluidoras de seus territórios, as quais migraram para nações subdesenvolvidas. Ou seja, a periferia, em decorrência do atraso na adoção de novas técnicas, incorpora as práticas produtivas maduras, isto é, ambientalmente “sujas”, de modo que a marginalização se

manifestaria, além de por meio do baixo progresso técnico e da pobreza, também por intermédio da exclusão ao acesso de um meio ambiente saudável (YOUNG & LUTOSA, 2003).

Não obstante, a ideia da Transição Justa é que as *commodities* minerais são consideradas como *common goods* que contribuem para a transição justa global, desde que essa indústria seja permeada por soluções inovadoras e sustentáveis para a implementação de seus empreendimentos localmente, com compartilhamento de resultados, governança eficiente, incluindo o desenvolvimento comunitário, social e ambiental. Ações de transferência de tecnologia e de financiamento internacional entre os países desenvolvidos e países fornecedores de *commons goods* são uma tendência associada ao *Climate Smart Mining* e serão necessárias para possibilitar relações ganha-ganha entre os envolvidos.

O estado de Minas Gerais dispõe de reservas consideráveis de diversos bens minerais – incluindo o minério de ferro, também necessário para a transição energética – e, portanto, poderá contribuir com a transição energética global. Porém, há obstáculos que precisam ser transpostos. Sob uma perspectiva de desenvolvimento territorial, o potencial de expansão dos materiais metálicos precisa ser acompanhado pelo desenvolvimento sustentável dos territórios afetados pela produção mineral. Há, por sinal, *gap* de infraestruturas nas regiões norte, nordeste e oeste do estado. O patrimônio cultural precisa ser valorizado e utilizado como um dos vetores de desenvolvimento regional. Há necessidade de maior investimento em pesquisa e inovação, como apoio aos equipamentos públicos de educação (universidades) já instalados.

Deste modo, a transição justa em Minas Gerais deve equilibrar a continuação da indústria extrativa mineral com os desafios dos impactos gerados nos territórios e com diversificação produtiva, de maneira a garantir o estabelecimento de regiões sustentáveis, resilientes e competitivas.

Tal processo pode utilizar as experiências alemãs como modelos de desenvolvimento (transferência de conhecimento), bem como alavancar financiamentos internacionais que apoiem projetos de transição justa em Minas Gerais. Como a Europa está formulando o *European Green Deal* ações em conjunto com países em desenvolvimento são estratégicas para garantir suprimento de *commodities* minerais ao continente europeu.

No entanto, é necessário contextualizar as experiências alemãs para adequá-las ao caso de Minas Gerais. Primeiramente, o ambiente de negócio e institucional deve favorecer a iniciativa. A realidade sociopolítica, incluindo regulação e *compliance* das atividades econômicas e

relações diplomáticas e institucionais deve permitir ambiente competitivo e compatível com as boas práticas internacionais.

Segundo o *Concept Paper* Transição Justa (FGV, 2020), o primeiro passo para utilizar as experiências alemãs como inspiração ao processo de Minas Gerais é identificar cenários de mineração para orientar diferentes tipologias de ações. Assim, as regiões minerárias de Minas Gerais seriam divididas da seguinte forma:

1) Áreas de Legado: onde a indústria extrativa mineral fechou ou irá fechar no curto prazo. Nesse caso, seriam necessárias ações de “reconversão do território” aproveitando das potencialidades econômicas, sociais e ambientais locais e restaurando o passivo existente. A região do Quadrilátero Ferrífero é utilizada como exemplo de área enquadrada nesta tipologia. Nessa localidade, observa-se potencial de reconversão da infraestrutura física, uma alta concentração de universidades e centros de tecnologia e um relevante patrimônio cultural. Estes elementos podem ser alavancados para iniciar um processo de diversificação econômica;

2) Áreas de Mineração: onde a atividade de mineração vai continuar no médio e longo prazo. Nesse caso, urge aderir ao planejamento regional conceitos como *Climate Smart Mining* e *Mining 4.0* para alavancar processos de eficiência, qualidade, segurança, saúde e meio ambiente (QSSMA). Nessas regiões, a expansão da indústria extrativa mineral, como base para a transição energética global, precisa caminhar em conjunto com o desenvolvimento sustentável dos territórios afetados. Isso significa garantir o crescimento adequada de elementos de infraestruturas, patrimônio cultural e de instituições de educação.

Ainda que o papel de Minas Gerais e da Alemanha na cooperação técnica em curso seja distinto – Minas Gerais entra com o fornecimento de *commodities* minerais e Alemanha com acesso a financiamentos, tecnologias e conhecimento – fatores comuns devem ser desenvolvidos em alinhamento entre ambas as partes: planejamento e estratégia, governança, gestão, abordagem de sustentabilidade e financiamento oriundos das experiências da Região da Lusatia e do Vale da Ruhr. A Figura 3 contém a organização dos mesmos.

Figura 3. Vetores Estratégicos para a “Tropicalização” da Transição Justa, Minas Gerais e Alemanha



Fonte: Concept Paper Transição Justa, FGV (2020).

Os vetores estratégicos podem ser brevemente descritos como:

- 1) Paisagem Sustentável, Cultura e Turismo: equilíbrio do uso e ocupação do solo e restauração da paisagem para alavancar o capital natural e a cultura local (atividades e patrimônios) enquanto vetor de desenvolvimento da economia. Na região da Lusatia as antigas minas à céu aberto foram transformadas em lagoas e antigas estruturas industriais se transformaram em atrações turísticas;
- 2) Cadeias Produtivas de Mineração, Siderurgia e Agronegócio: fomentar a evolução das cadeias produtivas existentes ligadas à mineração através da implementação de estratégias e ações de diversificação;
- 3) Infraestrutura, Logística e Energia: conversão das infraestruturas existentes que apoiavam a indústria extrativa mineral para outros setores produtivos, como, por exemplo, logística. Isto é, a infraestrutura de transporte existente pode representar uma oportunidade para o desenvolvimento de um sistema de logística e mobilidade para diversas atividades econômicas. A produção de energia renovável pode ser estabelecida em antigas minas a céu aberto, por exemplo, como ocorreu na região da Lusatia;
- 4) Planejamento, Governança e Engajamento de *Stakeholders*: presença de instrumentos institucionais que favoreçam a construção de processos de planejamento eficazes no curto e no

longo prazo. Necessário instaurar modelos de governança participativa dos *stakeholders* de todas as áreas de atuação, incluindo as comunidades do entorno dos empreendimentos minerários. Há instrumentos validados nas experiências alemães, porém, é necessário adequá-lo ao modelo de governança local;

5) Tecnologia e Ecossistemas de Inovação: o desenvolvimento de sistemas de inovação territoriais é uma oportunidade estratégica para estabelecimento de processo de desenvolvimento endógeno nas regiões minerárias. É relevante a interação entre universidades locais, polos de conhecimento globais e o mercado para a geração de serviços e produtos que possam compor as cadeias de valor globais;

6) Financiamento da Transição: a experiência Alemã mostrou que a transição justa alemã foi financiada principalmente por fundos públicos, com um papel menor do setor privado. Modelo este insuficiente para a realidade de Minas Gerais. Será necessário complementar os fundos públicos com fundos internacionais e privados ligados às questões climáticas e desenvolvimento sustentável. Razão que embasa a necessidade de apropriação do conceito e definição de uma rota de implantação de procedimentos *Climate Smart Mining* pelo estado de Minas Gerais.

2.4.2. O Programa Reconversão Produtiva de Territórios Minerados¹⁶

O Projeto de Reconversão Produtiva de Territórios Minerados teve seu início em 2019 com um acordo de cooperação técnica entre as entidades coordenadoras do Projeto: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, SEBRAE/MG, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais, Instituto Brasileiro de Mineração e Associação de Municípios Mineradores de Minas Gerais. O Projeto tem como objetivo contribuir para reduzir a dependência econômica da atividade minerária em municípios e territórios mineiros que atendam aos requisitos do projeto, a partir da Abordagem DEL – Desenvolvimento Econômico Local – do Sebrae/MG.

Por meio desse projeto será criada e implementada uma Agenda Estratégica para cada um dos 7 territórios abordados (contendo 13 municípios chave e outros 56 municípios de entorno), apresentando alternativas de reconversão produtiva que os ajude a identificar e adotar o caminho visando sua diversificação econômica, além de monitorar e avaliar as ações. O Projeto também se propõe a articular iniciativas que melhorarão o ambiente de negócios nas

¹⁶ Essa seção foi baseada em SEBRAE (2020).

cinco dimensões do Desenvolvimento Econômico Local (DEL): capital empreendedor, tecido empresarial, governança para o desenvolvimento, organização produtiva e inserção competitiva.

O programa foi desenvolvido como resposta aos cenários econômicos prospectivos de Minas Gerais que apontam para o risco de dependência econômica do estado e diversos de seus territórios em relação à atividade minerária. Esse cenário se agrava a cada ano na medida em que o horizonte da exaustão das jazidas se encurta e novos *players* mundiais se apresentam como importantes competidores. Essa situação também sempre levou à conclusão acerca da necessidade do estado de Minas Gerais de diversificar e desconcentrar sua economia, reduzindo, portanto, a excessiva dependência em relação à atividade minerária. Nos municípios essa situação se agrava: um importante conjunto de municípios mineiros se tornou excessivamente dependente da atividade minerária, apresentando, além disso, capacidade reduzida para mudar esse rumo. Diversas iniciativas, públicas e privadas, já foram empreendidas em Minas Gerais e nos seus municípios com atividade minerária buscando diversificar a economia e, ao mesmo tempo, aumentar a apropriação dos eventuais benefícios que a atividade pode proporcionar. Contudo, a maioria dessas iniciativas não alcançou seus objetivos.

Ao estudar as tentativas fracassadas de diversificação econômica, é possível encontrar razões comuns que levaram ao insucesso:

1. Descontinuidade administrativa;
2. Excessivo protagonismo de um ator, seja ele poder público ou outro;
3. Restrições orçamentárias e financeiras;
4. Excessivo foco em grandes investimentos, públicos e privados;
5. Baixo nível de articulação institucional, em nível local e estadual;
6. Elevado nível de intervenções externas e pouca construção coletiva local;
7. Baixo engajamento das grandes empresas locais;
8. Baixo engajamento de lideranças locais dos 3 setores: poder público, setor produtivo e sociedade civil.

Desse modo, o Projeto tem como objetivo mitigar gargalos estruturantes que implicaram insucesso das iniciativas anteriores (R3 Mineral, Geopark, CODAP, por exemplo) e ampliar as chances de promover uma efetiva transformação nesses territórios.

Também é importante a compreensão de que uma ação como essa não pode considerar apenas o município sede da atividade minerária. É necessário reconhecer os impactos, na maioria das vezes negativos, que os municípios do entorno sofrem: impactos sociais e ambientais, principalmente, levando a uma deterioração da qualidade de vida nos municípios do entorno. Portanto, utiliza-se o termo “Territórios Minerados” com o objetivo de englobar o município sede da atividade minerária e aqueles do seu entorno que são impactados por ela.

Reconversão Produtiva é um termo novo para um assunto relativamente antigo. Para os parceiros do projeto, Reconversão Produtiva é um processo que pretende fazer mudar a direção de como um local produz riqueza, renda e empregos. Com isso, o projeto de Reconversão Produtiva de Territórios Minerados busca encontrar novos caminhos, novas vocações econômicas para os Territórios Minerados.

Por que o termo “Territórios Minerados” e não “Territórios Mineradores”?

Um dos grandes desafios da atividade minerária é aumentar o senso de pertencimento da comunidade em relação a ela e, a partir disso, aumentar a aprovação popular e melhorar a imagem da atividade. Esse sentimento de pertencimento ainda não existe porque aos olhos da população a riqueza mineral explorada ou a ser explorada não lhe pertence e não lhe traz benefícios. Portanto, a comunidade não se vê no polo ativo da produção mineral, mas sim no polo passivo. Ela não é mineradora, ela é minerada.

A mineração precisa ser compreendida como sendo o somatório de empresas mineradoras, demais empresas da cadeia produtiva, trabalhadores, governos locais, comunidades, imprensa, dentre outros que precisam se apropriar dos seus benefícios e dos seus desafios, defendendo-a, promovendo-a, regulando-a e controlando-a. Enquanto isso não acontece, os territórios serão meramente “minerados” e não “mineradores”.

A Reconversão Produtiva em Territórios Minerados parece ter três caminhos possíveis, três impulsionadores possíveis e três origens de recursos possíveis, a saber:

Três caminhos possíveis para a Reconversão Produtiva em Territórios Minerados:

- 1) Reposicionamento da atividade mineral e adensamento da cadeia produtiva mineral.
- 2) Estímulo a outras vocações já existentes no território.
- 3) Estímulo a vocações completamente novas no território.

Três impulsionadores para a Reversão Produtiva em Territórios Minerados:

- 1) Investimento privado em territórios com maior dinamismo econômico (privados).
- 2) Investimento público em territórios com maior estagnação econômica (públicos).
- 3) Investimento conjugado em territórios promissores, mas com baixo dinamismo (conjugados).

Três origens de recursos para a Reversão Produtiva em Territórios Minerados:

- 1) Recursos originados externamente ao território (exógenos).
- 2) Recursos originados nas capacidades locais do território (endógenos).
- 3) Recursos externos e locais conjugados (mistos).

O Programa de Reversão produtiva de Territórios Minerados ainda está em fase de estruturação, sendo desenvolvida a etapa de inteligência, que inclui a elaboração de um diagnóstico territorial piloto, a formação da rede institucional local e a discussão e validação do diagnóstico e da estratégia de inteligência territorial local, para o caso do município de Itabira.

Itabira foi escolhida para o projeto piloto em decorrência da interrupção da atividade mineral no médio prazo, dado o esgotamento econômico das reservas de minério da região. É um exemplo agudo do cenário de crise da mineração no estado de Minas Gerais, estimulado, como visto neste capítulo, pela baixa cíclica nos preços internacionais de minério, pela demora na reformulação dos marcos legais do setor no Brasil, pela competição com os megaprojetos minerários da Vale no Pará e pelos desastres envolvendo barragens de rejeito a montante. Na esteira destes acidentes, algumas operações minerais foram paralisadas e outros empreendimentos com barragens de rejeitos a montante ficarão comprometidos, gerando o temor de esvaziamento da mineração no estado. Para modelar os impactos econômicos que esse esvaziamento teria sobre o território mineiro e para prospectar setores com maior potencial de crescimento para um programa de diversificação produtiva, o próximo capítulo apresenta a metodologia utilizada por esta tese, de modelagem de equilíbrio geral computável.

Capítulo 3. Metodologia

Análises econômicas que se destinam a compreender os efeitos líquidos, em termos de emprego e renda, de interações múltiplas entre os diversos setores de uma economia, abrangendo impactos retroalimentadores, ensejam, metodologicamente, a aplicação de modelos de equilíbrio geral. De acordo com Domingues (2002, p. 22):

Em equilíbrio parcial, a economia é um sistema econômico onde o problema em estudo representa um bloco, ou mercado, independente e isolado. As relações e o comportamento desse mercado têm pouco ou nenhum efeito no restante do sistema, e vice-versa. Em equilíbrio geral a economia é vista como um sistema de mercados inter-relacionados no qual o equilíbrio em todas as relações tem que ser obtido simultaneamente.

Problemáticas como desta tese — compreender os efeitos econômicos diretos e indiretos, sobre a economia regional, de mudanças na produção mineral relativa das regiões minerárias — são, naturalmente, um campo de aplicação propício para modelos de equilíbrio geral.

O modelo inter-regional desenvolvido nesta tese deriva da estrutura teórica do TERM (*The Enormous Regional Model*). Trata-se de um modelo *bottom-up*, isto é, construído para várias regiões em que os resultados nacionais são obtidos a partir das agregações dos resultados regionais. Nesse caso, o comportamento dos agentes a nível regional é endógeno no modelo. A estrutura numérica baseia-se na tradição australiana de modelagem de EGC do tipo Johansen (1960).

Trata-se de um modelo de equilíbrio geral computável inter-regional construído especialmente para a projeção dos impactos econômicos da atividade mineradora. Em virtude de sua estrutura *bottom-up*, o modelo permite simular cenários com efeitos sobre os preços específicos das regiões minerárias, bem como considerar a mobilidade regional e setorial dos fatores de produção.

Este capítulo apresenta o modelo construído para averiguar os impactos sociais e econômicos da retração da produção mineral nas microrregiões mineiras. A primeira seção traz uma breve revisão bibliográfica sobre o estado da arte da modelagem de EGC, apontando exemplos desenvolvidos para estudar choques no setor mineral. A segunda seção apresenta a especificação regional e setorial do modelo construído na tese, além de justificar a configuração territorial escolhida nesta tese. Em seguida, as demais seções apresentam a estrutura teórica e de dados do modelo, bem como as hipóteses assumidas e as fontes de dados utilizadas, sendo

que a última seção descreve o tratamento da base de dados do modelo para empreender uma análise de multiplicadores regionais, a fim de subsidiar a caracterização das regiões.

3.1. Breve revisão de modelos de equilíbrio geral computável

Um modelo de equilíbrio geral computável consiste em um conjunto de equações que incorpora um determinado contexto de conhecimentos econômicos, baseado no arcabouço teórico de equilíbrio geral inaugurado por Walras e formalizado por Kenneth Arrow e Gerard Debreu na década de 1950. Por meio da micro-fundamentação, esse tipo de modelo é capaz de captar características setoriais e comportamentais dos agentes da economia foco de estudo. Nessa modelagem, a variação dos preços relativos provoca substituições imperfeitas nos mercados de fatores primários e de bens, provocando impactos por toda a economia, que podem ser medidos (DOMINGUES, 2002).

O primeiro modelo aplicado de equilíbrio geral foi desenvolvido por Johansen (1960), e seus métodos foram adotados e continuados pelos integrantes do Centre of Policy Studies (CoPS), na Austrália, criado com o intuito de desenvolver ferramentas de modelagem econômica para guiar a elaboração de políticas públicas (LKHANAAJAV, 2016). Um dos primeiros modelos desenvolvidos no CoPS foi o ORANI (DIXON *et al.*, 1982), cujo objetivo era analisar efeitos das tarifas de importação na economia australiana. A simulação evidenciou que a redução dessas tarifas possibilitaria aumentar o salário médio, sem prejudicar o nível agregado de emprego, e estimular a atividade exportadora de determinadas regiões, como Western Australia e Queensland (LKHANAAJAV, 2016). A partir dele, países ao redor do mundo desenvolveram outros modelos de EGC.

Na década de 1990, a evolução do ORANI levou a outro modelo de EGC da tradição do CoPS: MONASH. Enquanto o primeiro era estático, o MONASH era um modelo dinâmico, possibilitando realizar previsões para as economias e indústrias. Ele apresentava quatro tipos de relações intertemporais: a acumulação de capital físico e investimento sensível à taxa de lucro; a acumulação de dívida externa e o balanço de pagamentos; a acumulação de dívida pública e o déficit do setor público; e o ajuste de salário em resposta a diferenciais da demanda e oferta por trabalho (LKHANAAJAV, 2016).

Os modelos de EGC da tradição CoPS tradicionalmente são utilizados em análises regionais. Em geral, os modelos regionais podem ser de dois tipos: *top-down*, em que os resultados nacionais são desagregados para as regiões; e *bottom-up*, em que os resultados para o nível

nacional decorrem da agregação dos resultados das regiões, cada uma comportando-se como uma economia separada. Desde as versões iniciais do ORANI era possível adotar um módulo regional, seguindo a abordagem *top-down*. Embora ela prescindia do uso intensivo de dados ou capacidade computacional, ela carece de escopo para simulação de choques de oferta específicos a uma região. Como alternativa, a segunda geração de modelos regionais (e.g. MMRF – *Monash Multiregional Forecasting Model*) adaptou o ORANI com adição de dois subscritos para a maior parte das equações e variáveis (região de origem e região de destino), adotando uma abordagem *bottom-up*. Com isso, foi possível simular políticas que teriam efeitos de preço específicos a determinada região, bem como a mobilidade imperfeita entre fatores. Não obstante, essa geração de modelos possuía grande requisito em termos de dados, limitando o nível de detalhamento do modelo (HORRIDGE, MADDEN & WITTWER, 2006).

Em oposição, o TERM (HORRIDGE, MADDEN & WITTWER, 2006), acrônimo para *The Enormous Regional Model*, é uma versão *bottom-up* que resultou em ganho de eficiência com a utilização de uma base de dados mais compacta e hipóteses simplificadoras. Por conseguinte, o modelo pode lidar com um maior nível de detalhamento.

Seguindo a tradição australiana de modelagem, o primeiro modelo de EGC desenvolvido para o Brasil foi o PAPA (GUILHOTO, 1995), utilizado para análise de políticas agrícolas. No que se refere à modelagem regional, o modelo B-MARIA (HADDAD, 1999) foi pioneiro, sendo calibrado para três regiões (Norte, Nordeste e Centro-Sul) com o intuito de discutir aspectos da desigualdade regional e de mudança estrutural na economia brasileira. O B-MARIA foi derivado do MMRF, e deu origem ao SPARTA (DOMINGUES, 2002), desenvolvido para análise dos efeitos econômicos associados à formação da Área de Livre Comércio das Américas (ALCA). Destaca-se o modelo IMAGEM-B (DOMINGUES, MAGALHÃES & FARIA, 2009), baseado na estrutura teórica do TERM e construído para permitir a mensuração de impactos de investimentos do PAC em comércio, infraestrutura e transporte inter-regional no Brasil.

Vários outros modelos para a economia brasileira foram derivados do IMAGEM-B, e os mais recentes passaram a incorporar os mecanismos de dinâmica recursiva. O BeGreen (MAGALHÃES, 2013), foi desenvolvido para abordar políticas climáticas de redução das emissões. O REGIA (CARVALHO, 2014), configurado para as regiões da Amazônia Legal Brasileira, teve o intuito de analisar questões relacionados ao desmatamento e uso do solo. O B-NORIM (RIBEIRO, 2015) avalia os impactos regionais decorrentes da implantação de refinarias de petróleo anunciadas para a região Nordeste.

3.1.1. Modelos de equilíbrio geral computável para a indústria mineral

Na literatura se encontram exemplos de aplicações de modelos de equilíbrio geral computável para estudar a indústria extrativa mineral, principalmente para a Austrália, que, além de ser o berço da tradição ORANI de modelagem de EGC, é um grande exportador de *commodities* minerais. Higgs (1986) utilizou o modelo ORANI para simular diferentes choques na economia australiana e quantificar os efeitos de curto prazo sobre o setor mineral em termos de produção, exportação e retorno líquido. A configuração setorial do modelo empregado permitiu explicitar, dentro da mineração como um todo, os segmentos de minério de ferro, minerais metálicos não-ferrosos, carvão e serviços minerais. Dentre os choques simulados, destacam-se corte no salário real, aumento da absorção doméstica e depreciação do dólar australiano.

Higgs (1986) verificou que o desempenho dos segmentos minerais na Austrália depende fortemente da competitividade internacional da economia como um todo e varia, dentro do setor de mineração, com a estrutura de custos e exposição à competição estrangeira. O corte de 1% no salário real levaria a um aumento na produção do setor de 2,21%, sendo maior no segmento carbonífero, que vende 70% da produção para o mercado doméstico, e menos responsivo na indústria do minério de ferro, em que a intensidade dos fatores fixos é maior e a elasticidade-preço da demanda externa é inferior. O aumento de 1% na absorção doméstica, no cenário de curto-prazo especificado por Higgs (1986), teria como efeito estimular o setor de bens *non-tradable*, aumentando os preços domésticos e reduzindo a posição competitiva. Disso decorreria o declínio do setor mineral como um todo. Já no que tange à desvalorização cambial, haveria forte expansão da atividade minerária, com aumento de 19% das exportações, sendo que o segmento do carvão apresentaria crescimento duas vezes maior do que o minério de ferro.

Utilizando um modelo de equilíbrio geral computável calibrado para a economia de Zâmbia, Lofgreen, Robinson & Thurlow (2002) analisaram os impactos econômicos de curto e longo prazo de choques na indústria extrativa do cobre. Em 1995, ano base do modelo, o setor minerário era responsável por 17% do valor adicionado e 78% das receitas de exportação, o que ensejou preocupações quanto à excessiva dependência de Zâmbia em relação à renda mineral do cobre. Nesse contexto, o artigo utilizou um modelo com 28 setores produtivos, 27 produtos e 8 fatores de produção: trabalho desqualificado, trabalho com educação primária, secundária ou com ensino superior, capital agrícola, capital minerário e outros tipos de capital, e terra. Além disso, o modelo apresenta 2 tipos de firmas, minerárias e não minerárias, e 4 tipos de famílias representativas – famílias metropolitanas de baixa e alta renda, outras famílias urbanas

e famílias rurais —, com o que fica possível averiguar os aspectos redistributivos dos choques. Supõe-se, ainda, que a taxa de câmbio é flexível, ajustando-se para equilibrar o saldo do balanço de pagamentos, frente a um dado nível de poupança externa (movimento de capitais).

Dois tipos de choques foram simulados por Lofgreen, Robinson & Thurlow (2002): redução de 20% no preço mundial do cobre e retração de 75% na produção do setor minerário, o que corresponderia à eliminação da atividade extrativa de cobre em Zâmbia. Na primeira simulação, a diminuição do preço provocaria, no curto prazo, queda no valor das exportações e, conseqüentemente, déficit em transações correntes, porém, como é assumido que a poupança externa é fixa, o choque levaria, no curto prazo, a uma depreciação de 10% na taxa de câmbio real. Na segunda simulação, impõe-se diminuição de 75% na produção do setor minerário. O choque induziria, no curto prazo, uma depreciação de 42% no câmbio, aumentando em 200% a venda de bens não minerais para o exterior, mas reduzindo 34% das exportações totais. Nas duas simulações, verificar-se-ia aumento das exportações de alimentos, bebidas e tabaco, além de tecidos, como decorrência da desvalorização cambial.

No longo prazo, o modelo supõe que é possível ajustar os estoques de capitais entre os setores produtivos, exceto nos segmentos de mineração (em que é dado o choque), tabaco, energia e turismo. Considera-se que estes carecem de infraestrutura adequada para aumentar a produção nas mesmas taxas que se verificaria com livre mobilidade de capital, por isso o modelo de EGC carrega restrições específicas a eles. Mesmo assim, o impacto dos choques é aliviado no longo prazo, em comparação com o curto prazo, uma vez que a maior facilidade de ajuste da economia reduziria a depreciação do câmbio necessária para restaurar o equilíbrio externo.

A simulação permitiu Lofgreen, Robinson & Thurlow (2002) a verificarem que, enquanto no curto prazo a resposta à queda da mineração do cobre se originaria dos setores de serviços e manufatura, no longo prazo as maiores perspectivas de diversificação para a economia zambiana viriam da agricultura e indústrias correlatas. Além disso, o artigo identificou que haveria efeitos progressivos na distribuição de renda, pois os fatores trabalho desqualificado ou com educação primária teriam os rendimentos aumentados com a mudança estrutural em direção à agricultura, ao passo que os rendimentos das famílias de alta renda provém, majoritariamente, da detenção de capital minerário (LOFGREEN, ROBINSON & THURLOW, 2002).

Clements, Ahammad & Ye (1996) utilizaram um modelo de equilíbrio geral computável, com 42 indústrias, para analisar o impacto econômico de 35 projetos de investimento no setor

mineral em Western Australia, projetos estes que tiveram início ou já estavam acionados em dezembro de 1995. A base de dados do modelo utiliza uma tabela de insumo-produto estimada para Western Australia (WA) por meio da abordagem de quociente locacional, para ajustar a matriz nacional ao estado. O artigo simulou o aumento exógeno do investimento em 6 subsetores da indústria mineral, totalizando 3,6 bilhões de dólares australianos por ano, o valor do conjunto de projetos. Supondo fixos a taxa nominal de câmbio e o salário, Clements, Ahammad & Ye (1996) encontraram que os projetos criariam 39 mil novos empregos na economia de Western Australian, tanto diretos, quanto indiretos, na fase de construção. Em acréscimo a essas estimativas, o artigo também analisa que, anualmente, seriam criados aproximadamente 22 mil empregos em cada ano da fase de operação dos projetos.

Embora nas duas fases o modelo evidencie expansão do produto interno bruto de WA, Clements, Ahammad & Ye (1996) salientaram alguns efeitos negativos. Verificar-se-ia declínio das exportações na fase de construção em decorrência da pressão sobre os custos domésticos que a instalação dos projetos representaria. Apesar do fato das indústrias fornecedoras do setor mineral apresentarem grande crescimento, outros segmentos exportadores e as firmas das cadeias produtivas correlatas poderiam contrair à medida que os custos internos pressionarem a posição competitiva externa. Na fase de operação, entretanto, a pressão dos custos é inferior, há grande expansão da renda com o início dos projetos e a exportação agregada volta a crescer.

Resultado semelhante foi encontrado por Ye (2008), que buscou avaliar os efeitos do *boom* das *commodities* minerais da década de 2000 sobre a economia do mesmo estado, Western Australia (WA). O artigo empregou uma versão do *Monash multi-regional forecasting – Green* (MMRF-Green), modelo multirregional e dinâmico, cobrindo 6 estados e 2 territórios, com uma desagregação setorial que engloba 50 indústrias que produzem 55 produtos distintos. A simulação consistiu de efetuar choques exógenos nas taxas anuais de expansão das exportações e do investimento no setor de minério de ferro entre 2004 e 2024. O exercício empírico se baseou numa lista de projetos, anunciados em 2006, que seriam estabelecidos em Western Australia, com custo total de 3,4 bilhões de dólares australianos e com potencial para aumentar a capacidade produtiva do estado em 40 Mt por ano. Dessa feita, no primeiro cenário os choques de investimento seriam aplicados entre 2004 e 2006, as exportações originadas desses novos empreendimentos se iniciariam em 2005, e o crescimento do valor exportado seguiria, até 2024, a ampliação verificada em 2007, quando o total das exportações de ferro atingiu 3,6 bilhões de dólares australianos. O segundo cenário considera uma perspectiva pessimista em que o *boom* de ferro acabaria em 2008, mimetizando o cenário anterior até esse ano.

Nos dois experimentos, verificou-se expansão da renda e emprego, embora em menor intensidade no último experimento. Comparado ao cenário base (*business-as-usual*), que mimetiza o quadro geral da economia do estado na ausência do *boom* das *commodities*, a economia de WA verificaria, no primeiro cenário, crescimento de 1,5% do Produto Interno Bruto (PIB), 0,5% do investimento, e crescimento de 1,8% das exportações em 2024. Haveria também acréscimo de 0,5% do número de empregos criados no cenário base. No segundo cenário, por sua vez, o PIB de Western Australia e as exportações cresceriam apenas 0,1% em relação ao cenário base em 2024, e o número de empregos seria 0,1% menor.

Ye (2008) também evidenciou que a economia de Western Australia como um todo seria beneficiada, mas no nível industrial haveria perdedores e ganhadores. Indústrias relacionadas à implantação dos projetos minerários, como construção civil, se beneficiariam grandemente e, em menor nível, alguns setores domésticos responderiam à maior demanda por serviços advinda do fluxo migratório de trabalhadores para operar na instalação dos equipamentos, como serviços da administração pública, comércio no atacado e varejo e outros serviços. Em contraste, outras indústrias orientadas à exportação ou que competem com importados sofreriam retração econômica em decorrência da expansão de custos verificada na esteira da implantação dos projetos. É o que aconteceria com agricultura e equipamentos de transporte.

McKissack *et al.* (2008) também buscaram analisar os impactos sobre a economia australiana do *boom* das *commodities* minerais na primeira década do século, enfocando ajustes no mercado de trabalho e as implicações industriais e regionais. Analisando as evidências do período entre 2004 e 2007, marcado por forte alta dos termos de troca, McKissack *et al.* (2008) verificaram que a renda cresceu na economia australiana como um todo, porém mais rapidamente na indústria extrativa mineral e, com um ritmo menor, no setor manufatureiro. O investimento como proporção do PIB também cresceu no segmento mineral, e o emprego na mineração apresentou taxas de crescimento em muito superiores às verificadas na década anterior. Outras indústrias também apresentaram crescimento do emprego acima da média histórica no período contemplado, com destaque à construção civil, que se beneficiou da implantação de projetos minerários e do crescimento da renda em geral. Dada a expansão no nível de emprego, os autores observaram que, durante o período estudado, o ajuste da economia à expansão dos termos de troca externos teria se realizado utilizando fatores de produção que se encontravam ociosos.

Dessa forma, o objetivo principal do artigo é analisar quais efeitos teria uma sustentação dessa trajetória dos termos de troca em uma economia que se aproxima do pleno emprego. Para isso, McKissack *et al.* (2008) utilizaram o *Monash multi-regional forecasting* (MMRF) para simular um aumento de 123% no preço do minério de ferro e 48% no preço do carvão, que foram os valores verificados entre 2003 e 2007, correspondendo a um aumento de 20% nos termos de troca. Como resultado, a economia cresceu 0,3% em comparação com o cenário de ausência dos choques, com expansão dos segmentos minerais, construção civil e serviços e retração de indústrias manufatureiras como têxteis e veículos. Western Australia e Queensland, estados mineradores, seriam os mais beneficiados e atrairiam mão de obra de estados como Victoria, South Australia e Northern Territory, que, por sua vez, experimentariam queda na atividade econômica em resposta ao declínio na atividade manufatureira. O modelo sugeriria, assim, que se a alta dos termos de troca fosse sustentável, então o processo de ajustamento da economia próxima do pleno emprego iria requerer uma realocação de recursos mais significativa, em especial com migração de trabalho. Entretanto, dada a lentidão da resposta dos fluxos de mão de obra, o processo de ajuste seria mais custoso do que o descrito pelo modelo de EGC.

Kyophilavong (2016) utilizou um modelo de equilíbrio geral computável calibrado para a economia de Laos, buscando quantificar os impactos macroeconômicos de uma expansão no segmento minerário. O modelo empregado possui 5 setores – mineração, agricultura, indústria, serviços privados e serviços públicos –, sendo que a indústria mineral apresenta uma função de produção específica que incorpora recursos naturais como insumo. O artigo simula o aumento de 10% da oferta de capital e de 5% da produtividade total dos fatores no setor minerário. Isso ocasionaria um crescimento setorial de 10%, em comparação com o cenário sem os choques. Em resposta, o PIB real cresceria 1,7%, e o investimento real aumentaria 5,9% em relação ao cenário de referência. Embora o setor de serviços privados seria impactado positivamente, observando-se crescimento de 2% em relação à *baseline*, o desempenho do setor industrial seria inferior (0,5%), e o setor agrícola e serviços governamentais apresentariam retração. Assim, se por um lado os choques levariam a um impacto positivo no PIB através de melhora no investimento e exportações, por outro o experimento demonstra efeitos negativos na produção, valor adicionado e consumo do setor agrícola.

Bohlmann *et al.* (2015) buscaram medir os impactos na economia sul-africana decorrentes da greve que se sucedeu na indústria de platina entre 2014 e 2015. Para isso, utilizaram um modelo de equilíbrio geral computável dinâmico, baseado no MONASH, para simular 4 cenários do comportamento da economia entre 2012 a 2020, frente aos choques decorrentes da interrupção

dos trabalhos nas minas. O impacto direto da greve, que é simulado nos 4 cenários, foi modelado como uma redução, em 2014, de 10% do uso de capital no setor minerário e de 10% na oferta total de trabalho na indústria, além de manter constante a demanda de investimento. O segundo cenário adiciona a esse impacto o aumento do salário nominal vigente na indústria minerária, enquanto os dois últimos cenários incorporam, além do aumento salarial, a fragilização na confiança dos empresários, com retração de 10% do investimento real no setor em 2014 e baixa na taxa de retorno esperada do investimento. No terceiro cenário, além disso, a taxa esperada de retorno recupera em 2016, enquanto que no quarto cenário, ela continua permanentemente abaixo da vigente na *baseline*, representando uma perda da confiança do investidor na indústria mineral.

Os resultados do experimento evidenciam declínio da atividade produtiva, com magnitude maior no último cenário. No ano de 2014, a produção mineral seria de 8,4% a 8,8% menor em relação à *baseline*, o investimento declinaria entre 1% e 1,75% do nível vigente no cenário base e o PIB real declinaria entre 0,72% e 0,78%. Em 2020, os cenários mais pessimistas evidenciam retração cumulativa de 1,2% a 2,3% da produção minerária em relação à *baseline*, o que ressalta que o impacto de médio prazo depende de como os investidores vão avaliar o perfil de risco do setor minerário depois da greve. O choque na indústria mineral provocaria ainda efeitos negativos em toda cadeia, com retração da siderurgia, bem como e produção de máquinas e equipamentos e construção civil – cujo investimento seria até 14,5% menor do que no cenário base.

No que se refere ao Brasil, são recentes os estudos que empregam a metodologia de equilíbrio geral computável para analisar o setor mineral, e o trabalho de Simonato (2016) se destaca a esse respeito. Simonato (2016) utiliza um modelo inter-regional dinâmico EGC, com mesma estrutura teórica do TERM, para avaliar os impactos econômicos regionais decorrentes do desastre de Mariana, ocorrido em novembro de 2015¹⁷. O modelo, denominado de DamAge, é calibrado com dados da Matriz de Insumo-Produto de 2013 e contempla 16 setores e 53 regiões, dentre as quais 49 municípios de Minas Gerais, uma região composta por Belo Horizonte, Contagem e Betim, além de Espírito Santo, Pará e uma região representando o restante do Brasil. A seleção dos territórios mineiros envolveu três critérios: municípios cuja área de influência é cortada pelo trecho do Rio Doce atingido pelos rejeitos; cidades próximas ao

¹⁷ A discussão acerca do desastre de Mariana encontra-se no capítulo 5.

desastre que apresentam relevante participação da produção de minério de ferro no seu PIB; e, por fim, localidades que possuem intensos fluxos comerciais com as anteriores.

Simonato (2016) simulou os impactos diretos e indiretos do desastre no período de 2016 a 2020 utilizando informações oficiais do prejuízo econômico imediato em decorrência do acidente da barragem do Fundão. Dentre essas fontes, destacam-se o relatório da força tarefa instituída pelo governo de Minas Gerais para avaliar os prejuízos privados na esteira do acidente (SEDRU/MG, 2016), dados de recolhimento de impostos no município de Mariana, e dados da variação da produção de minério de ferro. Os valores relatados em SEDRU/MG (2016) foram distribuídos quanto a setor do modelo e município afetado, sendo traduzidos em choques, no ano de 2016, sobre a produtividade do capital específico a segmento (agricultura, pecuária, indústria, comércio ou serviços) e local (territórios impactados pela onda de rejeitos).

Adicionalmente, visando captar os efeitos da queda da produção minerária em Mariana e da realocação para outras regiões, considerou-se em 2016 choque negativo de 100% sobre a produtividade do setor minerário no município e aumento homogêneo de 9,2% nas demais regiões%, de modo a manter a produção nacional de minério constante. A escolha de efetuar choques na produtividade do setor e não na produção propriamente dita se explica pelo fato da paralização produtiva não ter implicado queda imediata nos custos dos fatores de produção, uma vez que os trabalhadores da Samarco permaneceram de férias até o final de 2016 ou foram alocados para outras funções, inclusive de reparação. Dessa forma, implementar o choque na produtividade do setor permite que o modelo capture os efeitos da queda de produção paralelamente à manutenção dos custos (SIMONATO, 2016). Já o valor positivo de 9,2% para as demais regiões se explica pela participação da produção minerária de Mariana no total nacional, que é 9,2%. A hipótese de efeito zero sobre o total produzido é alicerçado nas estimativas de 2016, que mostravam que não houve efeito significativo na quantidade de minério de ferro extraída no Brasil.

Um terceiro conjunto de choques visou incorporar os efeitos da interrupção da atividade mineral sobre as finanças do município de Mariana. Dessa forma, foram considerados choques negativos de 40% dos gastos do governo na cidade em 2016, baseados na queda da arrecadação divulgada pela prefeitura no período pós-desastre.

Os resultados da simulação indicaram acentuada retração econômica nos municípios de Mariana, Barra Longa e Rio doce, bem como espraiamento dos impactos negativos nos territórios ao longo do rio Doce, transmitidos principalmente pelo comércio inter-regional. Em

termos acumulados, o PIB de Mariana em 2020 seria cerca de 50% menor em relação ao cenário base, sem a presença dos choques, sendo que a retração das exportações regionais, dado o choque no setor minerário, é predominante para explicar a queda do PIB municipal. As perdas setoriais em alguns municípios do rio Doce provocariam diminuição do PIB, em relação ao cenário base, não apenas para esses municípios, como também para os territórios próximos, com os impactos espalhados via comércio. São exemplos as perdas na pecuária em Barra Longa e Córrego Novo, no comércio em Santa Cruz do Escalvado e na indústria em Rio Doce. Assim, destacar-se-ia a relevância das atividades, para além do setor mineral, que sofreram impacto direto ou indireto em decorrência do desastre de Mariana (SIMONATO, 2016).

Além disso, sobressai-se o fato que choques sobre setores capital-intensivos tendem a ter efeitos menores em componentes do PIB pelo lado da renda, como emprego e consumo das famílias, quando comparado a choques sobre setores trabalho-intensivos. Isso é exemplificado pelo caso de Barra Longa, Córrego Novo e Rio Doce, que apresentaram choques em setores como pecuária e agricultura, tiveram queda acima da média no consumo das famílias, em relação ao cenário base, enquanto Mariana, principal alvo dos choques implementados, apresentou menor desvio absoluto na variável.

Não obstante o resultado em geral negativo, alguns municípios apresentariam crescimento em termos econômicos, em relação ao cenário base, decorrente da realocação da produção setorial do minério de ferro. É o caso de Barão de Cocais, Belo Vale, Brumadinho, Catas Altas, Conceição do Mato Dentro, Congonhas, Itabira, Itabirito, Nova Lima, Santa Bárbara, São Gonçalo do Rio Abaixo e o estado do Pará. Tais territórios, que são mineradores, produziram maior quantidade de ferro com a paralisação da produção em Mariana, o compensaria, no caso daqueles situados em Minas Gerais, os impactos econômicos negativos indiretos do desastre. Embora tais regiões apresentassem desvio positivo no PIB, o mesmo não se repetiria nos indicadores de emprego, principalmente em cidades com maior fluxo comercial com Itabira.

Cabe ressaltar que, mesmo considerando retomada total da produção de minério no município de Mariana a partir de 2018, o período de cinco anos considerado por Simonato (2016) seria insuficiente para a retomada dos indicadores econômicos ao nível prévio ao desastre. Embora a retomada da produção representaria um impacto acumulado menor do desastre, a atividade econômica no município de Mariana não se aproximaria do nível do cenário base em 2020, apresentando queda acumulada de 34% em relação a este.

Outro estudo que emprega um modelo de equilíbrio geral computável para analisar choques no setor mineral no Brasil foi empreendido por Domingues *et al.* (2020). Os autores buscaram projetar os impactos econômicos decorrentes da paralisação parcial da atividade minerária em Minas Gerais, após o desastre de Brumadinho¹⁸. Para isso, fazem uso do IMAGEM-MG, derivado do TERM e calibrado para o Brasil com dados de 2015, sendo desagregado em 127 setores e 7 regiões: Minas Gerais, Pará, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo, os estados com maior produção mineral no ano base do modelo.

Domingues *et al.* (2020) simularam um choque na produção de minério de ferro no estado, aferindo os efeitos econômicos de curto e longo prazo. Relatório da Vale publicado após o acidente afirmou que, em decorrência da ruptura da barragem, 10 unidades teriam que ser paralisadas, montando a uma queda de 40 milhões de toneladas de minério de ferro, que equivaleria a um corte de 10,38% da produção de Minas Gerais, tomando como denominador o quantitativo de 2016. No curto prazo, a consequência desse choque seria queda no PIB de Minas Gerais de 0,47% em relação ao cenário sem a queda na produção, retração no investimento da ordem de 0,63% e na exportação de 1%, além da perda de 15 mil postos de trabalho e 575 milhões de reais de arrecadação de impostos. No longo prazo, a diminuição no PIB estadual seria de 0,6%, investimento e exportações cairiam 1,04% e 0,9%, respectivamente, e seriam perdidos 11 mil postos de trabalho e 856 milhões de reais de receita tributária – todos os valores considerados em relação ao cenário base (DOMINGUES *et al.*, 2020).

Esse resultado decorre dos impactos que a paralisação da atividade minerária teria sobre os setores da economia, tanto diretamente ligados à mineração, quanto setores influenciados indiretamente, pela demanda e renda gerada no segmento extrativo mineral. Segundo os autores, os principais setores atingidos em Minas Gerais seriam produção de máquinas para extração mineral e construção, serviços de logística e transportes, serviços administrativos, obras de infraestrutura e a indústria de máquinas e equipamentos mecânicos (DOMINGUES *et al.*, 2020). Esse estudo foi uma primeira aproximação das consequências econômicas do desastre de Brumadinho, quantificadas na esteira do evento a partir de dados oficiais. Entretanto, como não é feita desagregação regional dentro do estado, não há indicação dos territórios mais atingidos, o que seria de importância, dado o caráter concentrado da atividade minerária no estado.

¹⁸ O desastre de Brumadinho é descrito no capítulo 5.

Esta tese busca realizar um exercício aprofundado de análise dos impactos da retração da indústria extrativa do ferro nos territórios mineiros, inovando ao distinguir as microrregiões mineradoras. As próximas seções apresentam os aspectos gerais do modelo desenvolvido, bem como as bases de dados utilizadas.

3.2. Especificação setorial e regional

Para realizar o exercício experimental do qual esta tese se trata, foi construído um modelo de equilíbrio geral computável inter-regional, dotado de mecanismos de dinâmica recursiva, para as principais regiões minerárias do minério de ferro do Brasil. A regionalização proposta objetiva desagregar a economia brasileira em 13 regiões: 6 microrregiões minerárias de Minas Gerais (Conceição do Mato Dentro, Belo Horizonte, Itabira, Itaguara, Ouro Preto e Conselheiro Lafaiete) e uma região representando o restante do território de Minas Gerais (Restante de Minas Gerais); a microrregião minerária de Parauapebas e uma outra região representando o restante do território paraense (Restante do Pará); Maranhão; Espírito Santo, São Paulo e uma região representando o Restante do Brasil, conforme ilustrado pela Figura 4, a seguir.

Figura 4. Regionalização adotada para o Brasil



Fonte: elaboração própria. No modelo, o "Restante do Brasil" corresponde a todos os estados exceto SP, ES, MA, MG e PA.

A escolha das 7 microrregiões minerárias deve-se à grande participação das mesmas no valor das operações minerais, obtido através de dados da ANM (2020b). Parauapebas é a microrregião que concentra essa atividade no Pará, considerada em 2018 como a maior província mineral do minério de ferro do planeta e sede do projeto S11D. O estado do Espírito Santo também é uma região explícita do modelo, incluído em virtude das conexões logísticas com a cadeia mineral de Minas Gerais, especialmente, relacionadas ao escoamento do minério de ferro exportado. O mesmo raciocínio se aplica ao estado do Maranhão, que possui vínculos logísticos com o escoamento do minério do Pará. Por fim, o estado de São Paulo foi incluído no modelo por ser o maior polo econômico nacional, centralizador de atividades mais complexas e renda.

A Tabela 2 ilustra a distribuição da produção do minério de ferro no Brasil no ano base do modelo, 2015. Percebe-se o elevado grau de concentração: menos de 20 municípios, distribuídos por 7 regiões minerárias, retém mais de 90% da produção do minério de ferro nacional. Isso se explica pela rigidez locacional do setor Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro e das demais atividades da mineração.

Tabela 2. Distribuição valor da produção do minério de ferro entre as regiões do modelo, 2015

Regiões	Valor da Produção Mineral (R\$ milhões)	Participação Regional
Conceição do Mato Dentro	1.150	2,5%
Belo Horizonte	7.227	15,9%
Itabira	7.552	16,7%
Itaguara	1.275	2,8%
Ouro Preto	9.964	22,0%
Conselheiro Lafaiete	3.845	8,5%
Resto Minas Gerais	136	0,3%
Parauapebas	13.558	29,9%
Resto Pará	3	0,0%
Maranhão	-	0,0%
Espírito Santo	-	0,0%
São Paulo	3	0,0%
Resto Brasil	641	1,4%
Total Minas Gerais	31.148	68,7%
Total Brasil	45.353	100%

Fonte: elaboração própria a partir da ANM (2020b).

No que diz respeito à desagregação setorial, as indústrias relacionadas à cadeia minero-metalúrgica foram individualizadas, para melhor captar os efeitos econômicos dos choques de produção sobre a Indústria Extrativa do Minério de Ferro. O Quadro 1 mostra a configuração setorial adotada, com destaque para Minério de ferro, desagregado das demais indústrias extrativas minerais, e os segmentos Ferro-gusa e ferroligas, Semiacabados, laminados planos, longos e tubos de aço, e Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos. O setor agropecuário também foi detalhado em produção agrícola, gado para corte e gado leiteiro, dada a importância da atividade para regiões pequenas, como Conceição do Mato Dentro.

Quadro 1. Desagregação setorial

Setor		Descrição
1	Agropec	Agropecuária (produtos agrícolas, suínos, aves), silvicultura e pesca
2	BovOutAni	Bovinos e outros animais vivos, prods. animal, caça e serv.
3	LeiteVacOut	Leite de vaca e de outros animais
4	Extrativa	Indústria extrativa (carvão, não metálicos e petróleo)
5	MinerFerro	Minério de ferro
6	MinMetNFer	Minerais metálicos não ferrosos
7	FerroGussa	Ferro-gusa e ferroligas
8	SemiLamAco	Semiacabados, laminados planos, longos e tubos de aço
9	PrMetNFer	Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos
10	PAcoNFer	Peças fundidas de aço e de metais não ferrosos
11	ProdMetal	Produtos de metal, excl. máquinas e equipamentos
12	AutoCamUti	Automóveis, camionetas e utilitários
13	CamOnibus	Caminhões e ônibus, incl. cabines, carrocerias e reboques
14	PecasAutom	Peças e acessórios para veículos automotores
15	Industria	Indústria da transformação
16	SIUP	Serviços Industriais de Utilidade Pública (eletricidade, gás e saneamento)
17	Construcao	Edificações, serviços de construção e obras de infraestrutura
18	ComAtaVar	Comércio por atacado e a varejo
19	TranspCarga	Transporte de carga
20	SerAdmPub	Serviços coletivos da administração pública
21	Educ	Educação
22	Saude	Saúde
23	Servicos	Serviços

Fonte: elaboração própria.

As próximas seções a estrutura teórica do modelo e o esforço de construção da base de dados regional.

3.3. Estrutura de dados padrão de modelos de EGC

A estrutura teórica e de dados do modelo construído nesta tese se baseia no TERM, acrônimo para *The enormous regional model*, que foi um modelo inter-regional empregado por Horridge, Madden & Wittwer (2005) para estudar os efeitos de uma seca que assolou a economia australiana entre os anos de 2002 e 2003. Uma das principais vantagens do TERM em relação aos modelos de EGC multirregionais anteriores é sua capacidade de lidar com um grande número de regiões ou setores, oriunda de uma estrutura de dados compacta devido à adoção de hipóteses simplificadoras. Este modelo trata cada região como um país, ou seja, como uma economia separada, mas relacionada inter-regionalmente. Isto se mostra uma ferramenta muito útil para examinar impactos em uma região específica, além de possibilitar a construção de modelos para grandes economias (HORRIDGE, 2012).

Os principais conjuntos do modelo são descritos no Quadro 2 e representam a estrutura tecnológica de produção e o mecanismo de composição da demanda do modelo.

Quadro 2. Descrição dos conjuntos estruturais

Header	Descrição	Elementos	Tamanho
ORG	Regiões de origem (*)		13
DST	Regiões de destino (*)		13
PRD	Regiões de margem de produção		13
IND	Indústrias (**)		23
COM	Commodities (**)		23
MAR	Margens	Comércio Transporte	
SRC	Origem	Importado Nacional	
USR	Usuários demandantes (**)	Famílias Investimento Governo Importações	

* 13 regiões.

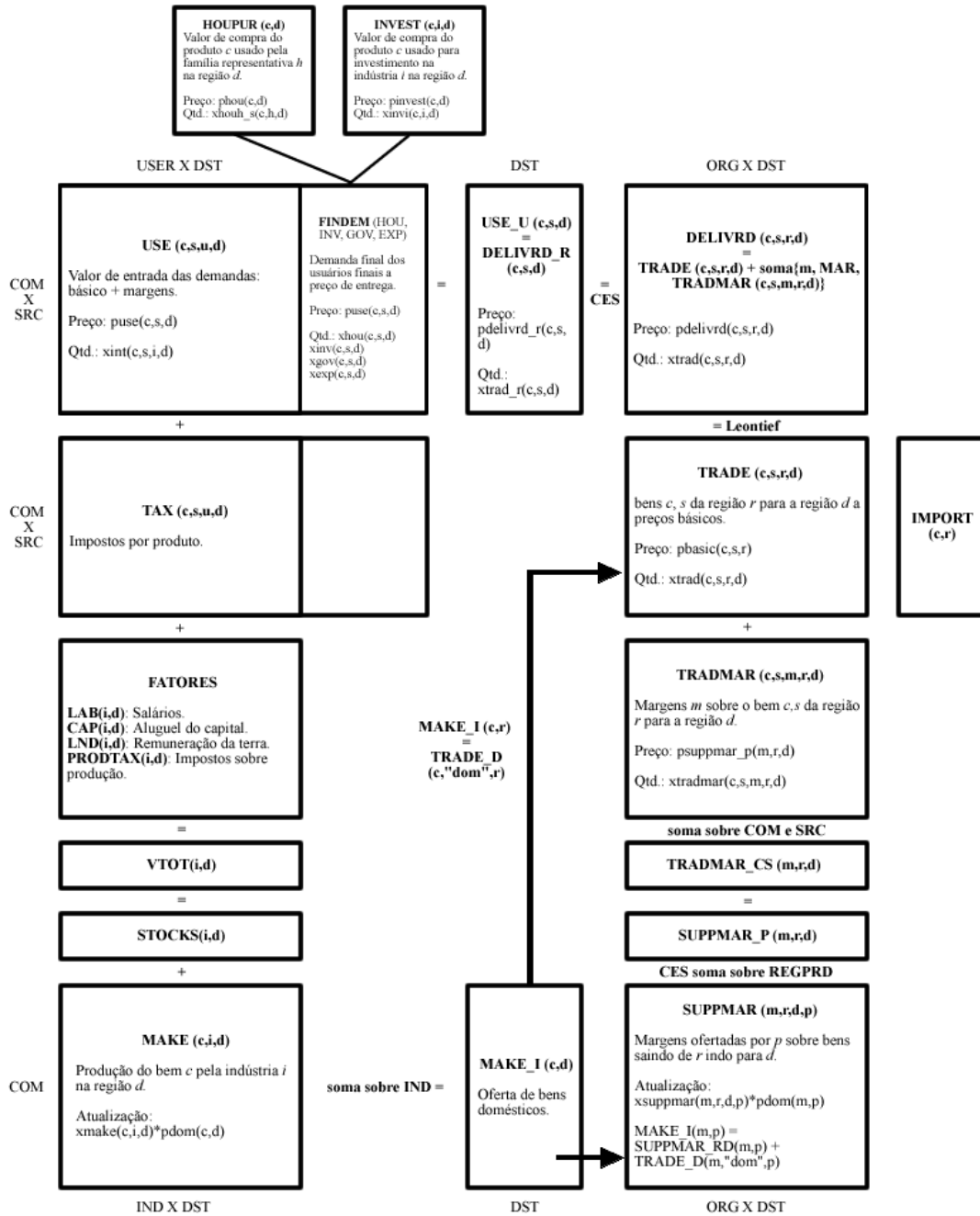
** 23 setores.

Fonte: elaboração própria a partir de Horridge (2012).

Seguindo a tradição inaugurada pelo TERM, o modelo apresenta, além desses conjuntos, 12 matrizes principais, que representam fluxos econômicos. Estes podem ser valorados a preços básicos (preço de produção ou preço CIF, caso importado), preços de entrega (preço básico

somado ao custo das margens de comércio e transporte) ou preços de compra (preço de entrega acrescido dos impostos específicos por usuário demandante). A Figura 5 é uma representação esquemática do banco de dados do modelo, evidenciando as matrizes que formam o seu núcleo. A descrição dos fluxos, que vem abaixo, segue Horridge (2012).

Figura 5. Principais matrizes do modelo



Fonte: elaboração própria a partir de Horridge (2012).

A matriz USE, de dimensões (c,s,u,d), mostra a demanda, em preço de entrega, por cada bem (c), fonte (s), em cada região de destino (d) por cada usuário (u). Verifica-se que USE não contém informações sobre a região de origem dos bens, apenas a região onde foram demandados. A matriz TAX engloba o imposto por mercadoria, referindo-se a cada elemento da matriz USE. Cada fator primário apresenta uma matriz com seus custos: ao trabalho corresponde a matriz LAB; ao capital corresponde CAP; e, por fim, à terra corresponde a matriz LND. Juntos com PRODTAX(i,d), o imposto de produção que incide sobre a indústria (i) na região (d), essas matrizes totalizam o custo ou valor da produção da indústria na região, VTOT(i,d).

Em tese, uma mesma indústria pode produzir mais de um tipo de mercadoria. A matriz MAKE, com dimensões (c,i,d), mostra o valor da produção de cada mercadoria (c) por cada indústria (i) na região (d). No caso de não se adotar firmas multi-produtos, a matriz MAKE é diagonal. Quanto aos estoques, os modelos baseados no TERM consideram que não há mudanças nos estoques das importações e, para a produção doméstica, consideram as variações nos estoques como um dos destinos do produto das indústrias, computado na matriz STOCKS, sendo que o restante vai para a matriz MAKE.

A matriz TRADE, de tamanho (c,s,r,d), mostra o valor do comércio inter-regional por região de origem (r) e de destino (d), por bem (c) e fonte, isto é, doméstico ou importado (s), sendo que para bens estrangeiros a fonte regional (r) indica o porto de entrada. A diagonal (r = d) mostra o valor do bem que é buscado no próprio local. Observe que TRADE não distingue os fluxos por usuário. Para cada elemento de TRADE, a matriz TRADMAR (c,s,m,r,d) traz o valor do produto utilizado como margem (m) para a realização do fluxo comercial. Somando TRADMAR para todas as margens e adicionando à TRADE, obtém-se a matriz DELIVRD (c,s,r,d), o valor em preço de entrega de todos os fluxos de bens dentro e entre as regiões.

A matriz SUPPMAR, de dimensões (m,r,d,p), representa o valor da margem (m) produzida na região (p) para realizar o fluxo comercial da região de origem (r) para a região de destino (d). Para cada tipo de margem utilizada nesse trajeto, a mesma proporção é produzida na região (p), por isso a matriz SUPPMAR não traz os subscritos de mercadoria (c) e fonte (s). Ou seja, o *share* de uma região na margem (m) usada em fluxos da região (r) para (d) é a mesma para qualquer bem que esteja sendo transacionado. No modelo, TRADEMAR_CS (m,r,d) (somatório de TRADE sobre as mercadorias e fonte) é uma agregação CES de SUPPMAR no seguinte sentido: as margens para um dado bem (c) em determinado roteiro (de r para d) são

buscadas de acordo com o preço da margem nas regiões (p). É necessário, portanto, que $SUPPMAR_P(m,r,d)$, a soma de $SUPPMAR$ sobre as regiões de origem da produção de margem, seja igual a $TRADEMAR_CS$.

Os modelos da linha do TERM assumem que, para cada bem (c, s), em uma dada região (d), há um “intermediário” que decide para todos os usuários de que região de origem os bens serão comprados. Isto é, todos os usuários em uma dada região (d) compram determinado bem (c,s) de outras regiões (r) de acordo com mesmas proporções. Além disso, a hipótese de Armington é assumida, de modo que a matriz $DELIVRD_R$ é uma agregação CES de $DELIVRD$ sobre as regiões de origem (r). É um requerimento de balanceamento da base de dados do TERM que $USE_U(c,s,d)$, que é a soma de USE sobre os usuários, seja igual a $DELIVRD_R(c,s,d)$.

Para os bens que não são margens, $MAKE_I(c,d)$ (soma de $MAKE$ sobre as indústrias) deve ser igual a $TRADE_D(c, “dom”, r)$, que é a parte doméstica de $TRADE$, originada somando-se sobre as regiões de destino (d). Para os bens que são margens, $MAKE_I(m,p)$ deve ser igual à soma de $SUPPMAR_RD(m,p)$, que representa os requerimentos de margens, com $TRADE_D(m, “dom”, p)$, a demanda direta desses produtos. Por fim, as matrizes satélites $INVEST$ e $HROUPUR$ permitem uma diferenciação entre as composições de produtos utilizados no investimento e no consumo das famílias. Para $INVEST$, essa informação é importante, uma vez que a composição de mercadorias empregadas no investimento pode variar entre os setores.

3.4. Estrutura teórica

Nesta seção é apresentado o arcabouço teórico, no que tange à estrutura de produção, de demanda e os mecanismos de ajuste. Seguindo a tradição TERM, o modelo é composto por sistemas de equações que determinam relações de demanda e oferta, partindo de hipóteses de otimização e condições de equilíbrio de mercado. Os agregados macroeconômicos nacionais — nível de emprego agregado, PIB, saldo comercial e índices de preços — são definidos com base nessa lógica. Em linhas gerais, seguindo a teoria microeconômica, os setores produtivos minimizam custos de produção sujeitos a uma tecnologia de retornos constantes de escala e os consumidores maximizam a utilidade sujeitos a uma restrição orçamentária.

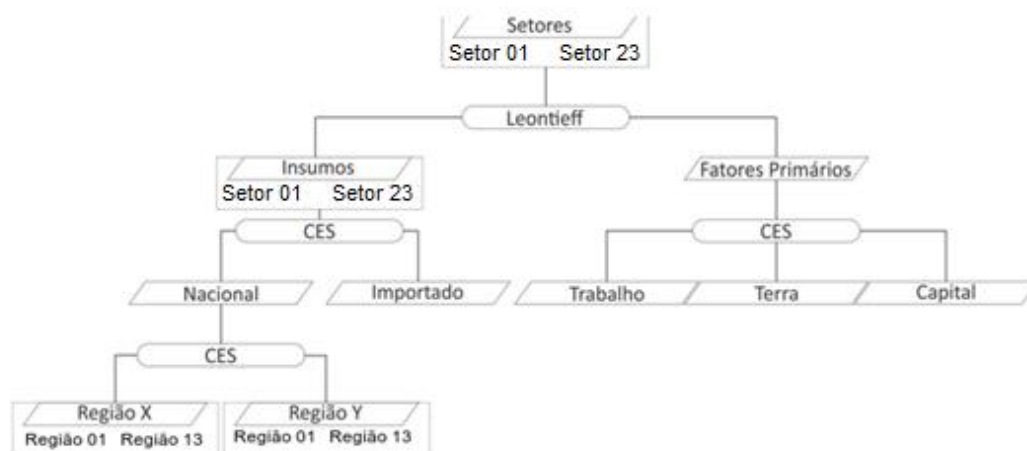
Produção Setorial, Capital e Investimento

No modelo inter-regional para a mineração cada setor produz somente um produto, utilizando durante o processo produtivo insumos intermediários com origem doméstica e importada, bem

como fatores primários (capital, trabalho e terra). Desse modo, como ilustrado na Figura 6, a função de produção se divide em dois ramos: a parte responsável pela definição das parcelas de uso dos fatores primários e a parte responsável pelo gerenciamento da fonte dos insumos.

Os setores produtivos minimizam os custos de produção sujeitos a uma tecnologia de retornos constantes de escala em que as combinações de insumos intermediários e fatores primários são determinados por coeficientes fixos, especificados assim por uma função de produção do tipo Leontief. Quanto aos insumos, há substituição entre insumos domésticos e importados via função de Elasticidade de Substituição Constante (CES). Funções CES também são usadas, no modelo, para determinar a alocação do composto doméstico entre as regiões, isto é, os insumos nacionais podem ser demandados das diferentes regiões. Assume-se assim a hipótese de Armington de substituição imperfeita entre os insumos nacionais e importados, assim como entre os insumos das diversas localidades (nacionais). Por fim, a substituição entre os fatores de produção na composição dos fatores primários também usa funções CES.

Figura 6. Estrutura Tecnológica da Produção



Fonte: elaboração própria a partir de Horridge (2012).

No que diz respeito ao investimento, isto é, a criação de novas unidades de capital, o modelo considera que os investidores utilizam os insumos de forma a minimizar os custos de produção, sujeitos a uma função do tipo Leontief. Isso significa que os insumos intermediários são combinados em proporções fixas. Não são utilizados fatores primários na produção de capital, e os insumos podem ser de origem estrangeira ou doméstica, de modo que uma função do tipo CES aloca a substituição entre a fonte (local ou importada) e entre as regiões do modelo.

O modelo possui mecanismos de dinâmica recursiva, em que o estoque de capital e o

investimento seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento setorial a partir de regras fixas, associadas ao volume de estoque de capital, às taxas de depreciação e à taxa de retorno, que são diferentes entre os setores (CARVALHO, 2014). Isso permite alocação setorial e regional do investimento. Procede-se, abaixo, à apresentação dos mecanismos de ajuste recursivo do modelo, seguindo Dixon & Rimmer (1998) e Carvalho (2014).

A acumulação de capital no modelo pode ser representada de acordo com a equação:

$$K_{i,t+1} = K_{i,t}(1 - D_{i,t}) + I_{i,t}$$

Onde $K_{i,t}$ é o estoque de capital da indústria i no período t , $I_{i,t}$ é a inversão de novo capital na indústria i no ano t , $D_{i,t}$ é a taxa de depreciação. Assume-se que o investimento numa indústria é balizado pelas expectativas da taxa de retorno, ao invés dos custos de instalação, que crescem com o aumento da pressão sobre as indústrias produtoras de bens de capital. Sendo $E_t(\cdot)$ o operador de valor esperado, ER_i a taxa de equilíbrio esperada (aquela necessária para sustentar a taxa corrente de crescimento de capital em i) e DR_i o desvio da taxa de retorno em relação ao equilíbrio, então a taxa de retorno esperada é dada por

$$E_t(R_{i,t}) = ER_i + DR_i$$

Em linhas gerais, os investidores estão propensos a permitir que a taxa de crescimento do capital da indústria i no ano t exceda a taxa de crescimento historicamente normal se eles esperam que a taxa de retorno também esteja acima da taxa tradicionalmente observada. Formalmente, em modelos de EGC de dinâmica recursiva, adota-se o seguinte mecanismo:

$$E_t(R_{i,t}) = -1 + \left[\frac{E_t(Q_{i,t+1})}{C_{i,t}} \right] \times \left(\frac{1}{1+r} \right) + (1 - D_i) \times \left[\frac{E_t(C_{i,t+1})}{C_{i,t}} \right] \times \left(\frac{1}{1+r} \right)$$

Onde $Q_{i,t}$ é o retorno do capital na indústria i no período t , r é a taxa de juros, $C_{i,t}$ é o custo extra de uma unidade de capital no setor i no período t . Esta equação informa que a taxa de retorno esperada no setor i é o valor presente de um real extra de investimento, ou seja, é o valor presente da renda gerada de $E_t(Q_{i,t+1})/C_{i,t}$, retorno implícito da inversão de capital, mais o valor presente do preço do capital ajustado pela depreciação, ou $E_t(C_{i,t+1})/C_{i,t}$.

Dessa forma, constrói-se uma curva de oferta de investimento em que a taxa de retorno esperada é positivamente relacionada com a taxa de crescimento do estoque de capital, ou, sendo $f_{i,t}(\cdot)$ é uma função não-decrescente:

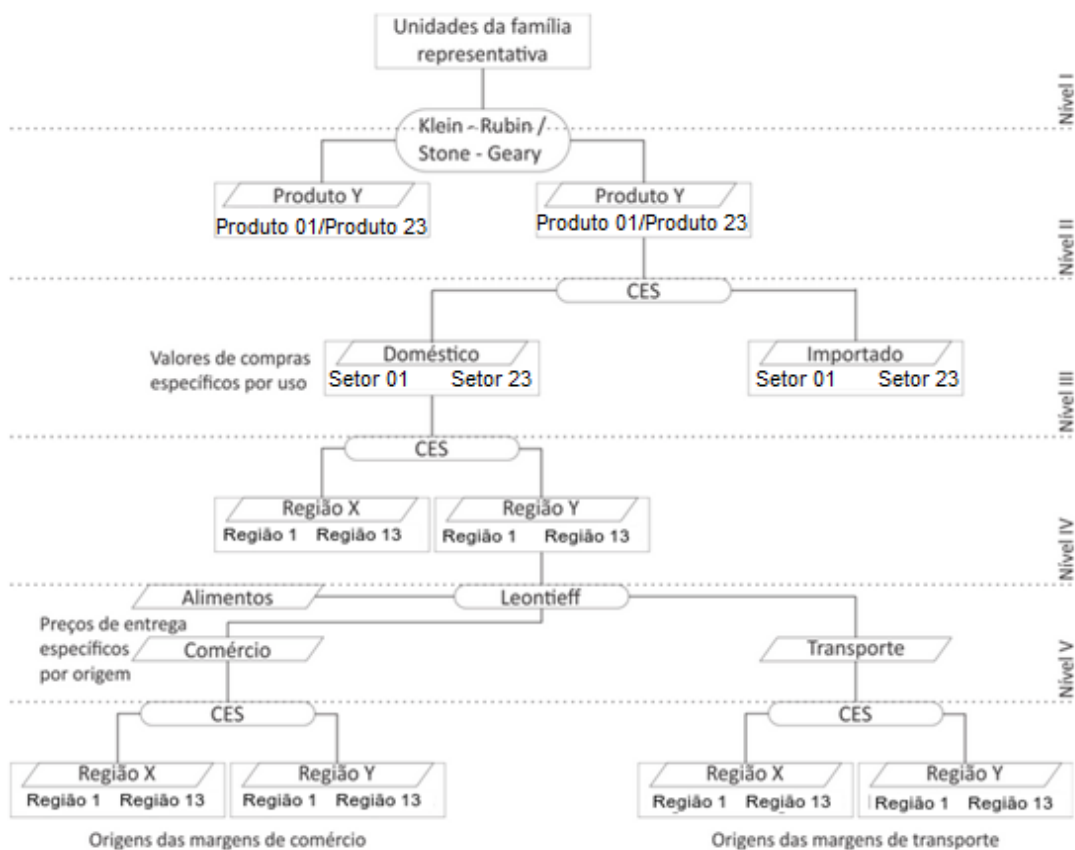
$$E_t(R_{i,t}) = f_{i,t} \left(\frac{K_{i,t+1}}{K_{i,t}} - 1 \right)$$

Isto é, quanto maior a taxa de crescimento do capital, maior será a taxa de retorno esperada.

Demanda Regional

À cada região do modelo corresponde uma família representativa, cuja cesta de consumo inclui bens domésticos e importados. A função de demanda das famílias estabelece composições ótimas de consumo, por meio da seleção de vetores de bens que proporcionam a maximização de uma função utilidade específica, sob a restrição da renda disponível. O problema de maximização da utilidade segue etapas hierarquizadas, ponderando as possibilidades de substituição decorrentes do processo de formação do mecanismo de composição da demanda, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7. Mecanismo de composição da demanda



Fonte: elaboração própria a partir de Magalhães (2013).

No nível I, é executada uma agregação dos bens através de uma função de utilidade *per capita* não-homotética Klein-Rubin ou Stone-Geary, que pode ser definida como:

$$U(h) = \sum_i^N \frac{1}{Q} (X(h) - \gamma(h))^{Bh}$$

Em que $X(h)$ é o consumo agregado do bem i pela família h dentre Q famílias e $\gamma(h)$ é a quantidade de subsistência de cada família h (HADDAD, 2004). Feitos os dispêndios de subsistência (quantidades consumidas independentemente do preço), o resíduo do orçamento do consumidor corresponde aos gastos de luxo.

Da maximização da função de utilidade *per capita* decorre o Sistema Linear de Gastos (LES). Essa função não possui elasticidade-renda da demanda unitária, uma vez que a participação do gasto acima do nível de subsistência representa uma proporção constante do gasto total de subsistência de cada família, para cada bem (MAGALHÃES, 2013). Vale lembrar que o Sistema Linear de Gastos se adequa para amplos conjuntos de bens onde substituições específicas não são consideradas, de modo que os bens são encarados como bens complementares fracos.

No nível II, a escolha entre bens nacionais e importados pelas famílias é realizada por uma função CES. As demandas são relacionadas com valores de compra específicos por uso, com elasticidade de substituição entre doméstico e importado (KUME & PIANI, 2011).

No nível III, são definidas quais regiões do modelo produzem qual *share* do mercado de cada bem, por meio de uma função CES. Além dos preços de produção, a alocação produtiva regional é calculada com base em preços de entrega, decorrentes de margens de transporte e de comércio. Assim, o *share* da produção de cada região varia em função dos respectivos custos de transporte. Para calibrar a função CES para o comércio inter-regional, são utilizadas elasticidades de substituição estimadas por Faria e Haddad (2014).

No nível IV, é determinado o fluxo produtivo entre as regiões, em função dos valores básicos, margem de transporte e de comércio. A parcela de cada margem no preço total de entrega é uma combinação de origem, destino, bem e fonte e a participação de cada componente é determinada por uma função Leontief. Regiões nas quais há queda relativa do custo dos produtos acomodam o aumento de sua participação relativa no mercado regional.

No último nível, ocorre a geração das margens por parte das regiões do modelo. É hipótese do modelo que as margens sejam distribuídas mais ou menos equitativamente entre origem e destino, ou entre regiões intermediárias no caso de transporte entre regiões mais distantes. Existe substituição nos fornecedores de margem de acordo com uma função de elasticidade de

substituição constante. Para as margens de comércio, por outro lado, é hipótese que a maior parte da margem seja produzida na região de destino (uso), havendo substituição com elasticidade constante.

Exportação e Governo

Quanto às exportações setoriais, adota-se a hipótese de país pequeno no comércio internacional, isto é, aquelas respondem às curvas de demanda negativamente associadas aos custos domésticos de produção e positivamente afetadas pela expansão exógena da renda internacional. Um vetor de elasticidades representa a resposta da demanda externa a alterações no preço F.O.B. das exportações. As funções de demanda por exportações representam a saída de bens que deixam o país por uma unidade da receita federal, e o modelo pode diferenciar o local de produção do bem exportado e seu ponto de exportação.

Neste modelo, as três esferas da administração pública (municipal, estadual e federal) são agregadas como um único agente, o governo. Considera-se que o consumo do governo é exógeno, de modo que não é incorporada qualquer retração no dispêndio que poderia decorrer do decréscimo na arrecadação da CFEM. A hipótese de exogeneidade do governo é comum em modelos de equilíbrio geral computável cujo principal objetivo não é tratar de aspectos fiscais ou tributários.

Mercado de trabalho

O modelo trata o emprego nacional exógeno, não havendo um sistema de ajuste temporal do mercado de trabalho, porém o mercado de trabalho regional, por outro lado, é endógeno, de modo que se permite fluxo de trabalhadores entre as regiões do modelo. A determinação do emprego regional parte dos seguintes pressupostos: i) variação no emprego originada por características demográficas históricas, com salários se ajustando endogenamente para equilibrar o mercado de trabalho regional e ii) salário real fixo e o emprego determinado pelo lado da demanda no mercado de trabalho (HORRIDGE, 2012).

Equilíbrio de mercados, preços e margens

O modelo inter-regional para a mineração opera com equações de equilíbrio de mercado para todos os bens consumidos na região, tanto domésticos como importados, além de equilíbrio no mercado de fatores (terra, capital e trabalho). Preço de entrega dos produtos transacionados entre as regiões é a soma do preço básico e as margens de comércio e transporte, enquanto que

o preço básico corresponde aos preços de produção (no caso de bens produzidos no país) ou aos preços CIF (no caso de importados). Define-se como preço de compra para cada um dos usuários demandantes (produtores, investidores, famílias, exportadores e governo) a soma dos valores básicos, impostos (diretos e indiretos) sobre vendas — sob a forma de taxas *ad-valorem* sobre os fluxos — e margens (MAGALHÃES, 2013). As demandas por margens (transporte e de comércio) são proporcionais aos fluxos de bens aos quais as margens estão conectadas.

Outras equações

Além das estruturas apresentadas, o modelo é composto por outros conjuntos e séries de equações operacionais, como:

- PIB pela ótica do dispêndio e pela ótica da renda;
- Saldo Comercial;
- Índices de preços de consumo das famílias, do investimento, das exportações, das importações e do PIB (deflator implícito);
- Agregações de fatores primários (capital, trabalho e terra);
- Decomposições das vendas (uso intermediário e final); e
- Decomposições do PIB (pela ótica do dispêndio e pela ótica da renda).

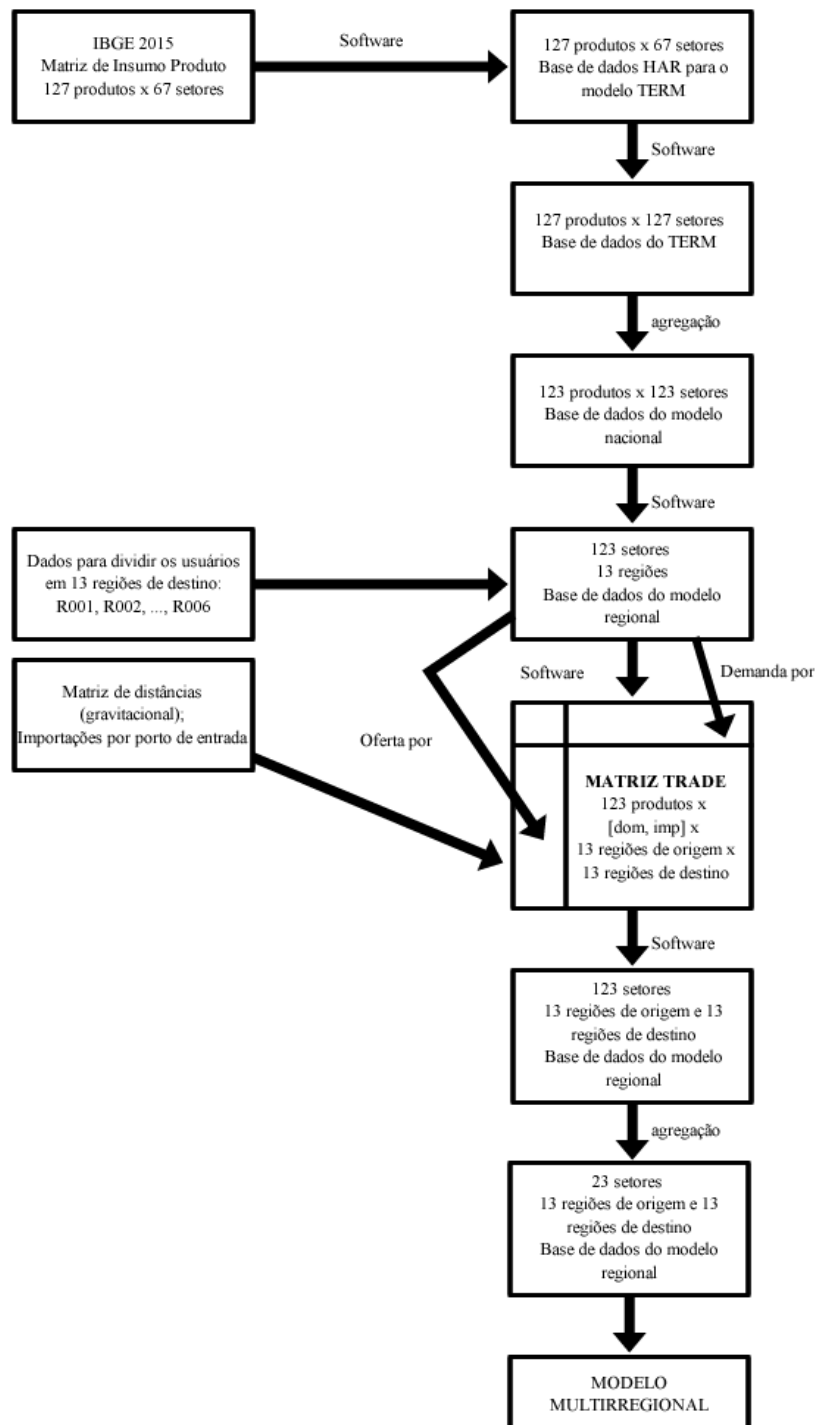
As principais equações subjacentes a esse modelo, derivadas da estrutura do TERM, são explicadas no Anexo 05. A próxima seção descreve a teoria que rege a configuração do módulo regional, bem como a conformação da base de dados nacional.

3.5. Bases de dados e procedimento de regionalização

A base de dados principal de modelos multirregionais de EGC é construída a partir de adaptações da Matriz de Insumo Produto, necessárias para suprir a carência de dados na desagregação regional e setorial adequada à modelos inter-regionais. Neste sentido, a base de dados do modelo foi construída por meio de um procedimento de regionalização, desenvolvido por Horridge, Madden & Wittwer (2005) e adaptado para os dados do Brasil. Os modelos desenvolvidos no Núcleo de Estudos em Modelagem Econômica e Ambiental Aplicada (NEMEA) do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais (CEDEPLAR-UFMG) demonstram a ampla diversidade de regionalizações possíveis para a especificação da base de dados desse modelo, como Simonato (2016), Tanure *et al.* (2020), Magalhães *et al.* (2016) e Carvalho, Magalhães & Domingues (2019).

O procedimento computacional, desenvolvido no software GEMPACK, consiste na construção de uma base de dados para um modelo EGC inter-regional *bottom-up* a partir das participações regionais na produção setorial e nos agregados macroeconômicos (produção, investimento, consumo das famílias, gastos do governo, importações, exportações). O processo de estimação da base a partir dos dados regionais segue os passos ilustrados na Figura 8, e parte da Matriz Insumo Produto de 2015. As próximas seções descrevem as sequências empreendidas e se basearam nos trabalhos de Carvalho (2014) e Tanure (2020), que utilizaram o mesmo arcabouço de modelagem multirregional *bottom-up* de equilíbrio geral computável para traçar diferentes experimentos analíticos com dados da economia brasileira.

Figura 8. Resumo do procedimento de regionalização



Fonte: elaboração própria, a partir de Carvalho (2014).

3.5.1. Organização base de dados nacional

No primeiro passo, a Matriz Insumo Produto de 2015, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é utilizada para compor a base de dados nacional do modelo

TERM, sobre a qual o procedimento de regionalização é efetuado. A Figura 9 apresenta a estrutura dessa base. As colunas representam as compras dos usuários – produtores domésticos, investidores (setores industriais), família representativa, exportadores, governo e estoques. Os 127 produtores podem ter origem doméstica ou estrangeira, sendo absorvidos como insumos intermediários pelos setores industriais, como formação bruta de capital fixo pelos investidores, como bens de consumo final pelas famílias e governo, como produtos exportados e como variação em estoques. Os fatores primários são absorvidos pelo usuário produtores, enquanto os produtos transporte e comércio são empregados como margens (CARVALHO, 2014).

Figura 9. Base de dados nacional do modelo TERM

		Matriz de absorção					
		1	2	3	4	5	6
		Produtores	Investidores	Famílias	Exportações	Governo	Estoques
Tama- nho		<i>i</i>	<i>i</i>				
Fluxos de uso	$c*s$	V1BAS	V2BAS	V3BAS	V4BAS	V5BAS	V6BAS
Impostos	$c*s*$	V1MAR	V2MAR	V3MAR	V4MAR	V5MAR	-
Margens	$c*s*m$	V1TAX	V2TAX	V3TAX	V4TAX	V5TAX	-
Trabalho	<i>o</i>	V1LAB					
Capital		V1CAP					
Terra		V1LND					
Imposto de produção		V1PTX					

c = bens (1,...,127)
 i = setores (1,...,127)
 o = ocupações (1)
 s = origem (doméstico, importado)
 m = margens (comércio, transporte)

Matriz de produção	
Tama- nho	<i>i</i>
<i>c</i>	MAKE

Impostos de importação	
Tama- nho	<i>i</i>
<i>c</i>	V0TAR

O segundo passo consiste em simplificar o formato da base de dados nacional, descartando informações desnecessárias para o modelo regional. As matrizes de fluxos intermediários (V1BAS), investimentos (V2BAS), fluxos das famílias (V3BAS), fluxos de exportações (V4BAS) e de gastos do governo (V5BAS) são somadas, originando a matriz BASIC, de dimensões c, s, u , onde u é composto pelos 127 setores mais a demanda final (famílias, exportadores e governo). Além disso, a demanda por investimento fica representada em uma única coluna. A mesma simplificação também é efetuada para impostos (TAX) e margens (MAR).

Outros processos são realizados para sintetizar a base de dados. As receitas de imposto sobre importações são realocadas em uma matriz satélite, que discrimina o valor por usuário. Os estoques são subtraídos da matriz MAKE, aqueles de origem externa são descartados e os de origem doméstica são rearranjados em um vetor por indústria. Por fim, a composição dos investimentos por setor industrial é condensada em uma matriz de compra por indústria e por produto, INVSHR(c,i). Na base regionalizada, não se permite a utilização de investimento com participação de produtos importados (CARVALHO, 2014).

Após a formatação e simplificação, procede-se à diagonalização da matriz, que passa de 127 produtos e 67 setores para 127 produtos e 127 setores. Posteriormente, a base sofre uma agregação em 123 setores, que constam explicitados no Anexo 03. Assim, o próximo passo é o procedimento de distribuição da produção e da demanda final nas 13 regiões do modelo.

3.5.2. Distribuição regional da produção e da demanda final

Primeiramente, são estabelecidas as participações por estados da federação, posteriormente são empregados dados de massa salarial, disponibilizados pela RAIS, para desagregar os estados de Minas Gerais e Pará nas microrregiões descritas. Os outros territórios são agregados na região Restante do Brasil.

Para a elaboração da participação de cada região nos montantes nacionais foram utilizadas as seguintes bases de dados: PIB para os grandes setores econômicos (agropecuária, indústria, serviços e administração pública), divulgados pelo IBGE; exportações e importações regionais oriundas do sistema COMEX STAT da SECEX, e a massa salarial (por setor e município), contida na Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), todas para o ano de 2015. O gasto familiar, por sua vez, foi desagregado a partir de informações de consumo da Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009 (POF), disponibilizada pelo IBGE. Já a participação

municipal da produção de minério de ferro foi elaborada a partir de dados da Agência Nacional de Mineração (ANM), para o ano de 2015. Os dados necessários para esta etapa estão descritos no Quadro 3. As participações regionais de cada usuário final, se somadas, devem igualar a 1, isto é, se $R001_{i,r}$ é a participação da produção do setor i na região r , então $\sum_r R001_{i,r} = 1$.

Quadro 3. Participações regionais que compõem o procedimento de regionalização

Variável	Descrição	Fonte
R001	Participação regional na produção (por i setores e r regiões)	ANM, IBGE, RAIS
R002	Participação regional no investimento (por i setores e r regiões)	IBGE, RAIS
R003	Participação regional no consumo das famílias (por c produtos e r regiões)	POF, IBGE
R004	Participação regional nas exportações (por c produtos e r regiões)	COMEX STAT
R005	Participação regional no consumo do governo (por c produtos e r regiões)	IBGE
R006	Participação regional da variação de estoques (por c produtos e r regiões)	IBGE, RAIS

Fonte: elaboração própria.

A variável R001 corresponde à participação regional da produção e foi elaborada a partir do Valor Agregado Bruto disponibilizado junto com o PIB pelo IBGE. Como esses dados estão postos para 3 setores (Agropecuária, Indústrias e Serviços), é realizada uma desagregação em 12 atividades econômicas, utilizando a participação nacional de cada atividade econômica no Valor Adicionado Bruto de 2015, como informado pela Tabela 3. Por fim, uma desagregação adicional nos 123 setores é realizada utilizando a participação setorial da massa salarial, extraída pela RAIS, por região e categoria CNAE 2.0 Classe (TANURE, 2020).

Tabela 3. Participação nacional da atividade econômica no Valor Adicionado Bruto, 2015

Atividade econômica	Participação (%)
Agropecuária	1,00
Indústrias extrativas	0,10
Indústrias de transformação	0,54
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	0,11
Construção	0,26
Comércio	0,18
Transporte, armazenagem e correio	0,06
Informação e comunicação	0,05
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	0,10
Atividades imobiliárias	0,13
Outras atividades de serviços	0,24
Administração, defesa, saúde e educação públicas e seg. social	0,24

Fonte: elaboração própria a partir de Tanure (2020).

Por falta de dados, as participações de investimento (R002) e variação de estoques (R006) são

iguais às participações regionais da produção, hipótese comum em modelos de EGC multirregionais para a economia brasileira. A participação dos gastos do governo (R005) origina-se da proporção da Administração Pública no PIB total de cada região. Já a participação regional do consumo das famílias (R003) é construída a partir das informações de despesa da Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009 (POF), classificadas de acordo com o Sistema de Contas Nacionais e traduzida para os setores do modelo. Por fim, para as exportações, são obtidos dados do comércio exterior por porto de saída do sistema ComexStat da Secretaria de Comércio Exterior (TANURE, 2020).

De posse dessas variáveis, procede-se à segregação de usuários por destino. Aplicando as participações na base de dados nacional, são computadas as matrizes USE, FACTOR e MAKE, que, nessa etapa, não distinguem a região de origem. São utilizadas novamente as variáveis R001 a R006 para dividir as matrizes por usuário de destino, assumindo que a razão de importados por domésticos e as proporções de insumos por indústria são iguais entre as regiões. As correspondentes regionais da MAKE seguem a matriz nacional, sem os estoques, sendo distribuídas de acordo com R001. As margens, por sua vez, são distribuídas de acordo com os fluxos básicos da economia nacional, usando a distância média entre as regiões e um parâmetro MARWGT, que diferencia produtos de fácil e difícil deslocamento. Margens (MARGIN) e fluxos básicos (BASIC) são alocados na matriz USE, que assume que a proporção de fluxos sobre as margens é constante para todos os usuários (TANURE, 2020).

Procede-se, em seguida, à estimação da oferta e demandas regionais, cuja diferença será alocada na matriz de comércio inter-regional a ser construída na próxima etapa. A oferta doméstica de cada produto, por região, é representada pelo somatório da matriz MAKE sobre os setores, isto é,

$$\text{Oferta (c, "dom", r)} = \text{MAKE_I (c,r)} = \text{soma}\{i, \text{IND, MAKE (c,s,i,r)}\}$$

Onde a desagregação da matriz MAKE para as regiões, como visto, é construída pelo produto da matriz MAKE da base de dados nacional nacional, NMAKE (c,i), pelas participações na produção setorial por região:

$$\text{MAKE (c,s,r)} = \text{R001 (i,r)} \times \text{NMAKE (c,i)}$$

A fim de calcular a oferta importada, obtém-se o vetor de importações da base de dados nacional, NIMP (c), e a participação das importações de dado produto por porto de entrada, MSHR (c,r), extraída do sistema ComexStat da Secretaria de Comércio Exterior. Assim, a

oferta regional de importados é composta pela oferta de importações na economia nacional, multiplicada pelas participações por porto de entrada:

$$\text{Oferta (c, "imp", r)} = \text{IMPORT (c,r)} = \text{MSHR (c,r)} \times \text{NIMP (c)}$$

A demanda regional, por sua vez, é obtida pelo somatório da matriz BASIC sobre os usuários:

$$\text{Demanda (c,s,r)} = \text{BASIC_U (c,s,r)} = \text{soma}\{\text{u, USR, BASIC (c,s,u,r)}\}$$

Onde BASIC advém do produto da correspondente nacional, NBASIC (c,s,u), pelas participações de produção setorial por região e por usuário, USHR (c,s,u,r):

$$\text{BASIC (c,s,u,r)} = \text{NBASIC (c,s,u)} \times \text{USHR (c,s,u,r)}$$

Sendo que USHR (c,s,u,r) engloba as variáveis R003 (participação das famílias), R004 (exportadores) e R005 (governo):

$$\text{USHR (c, s, "hou", r)} = \text{R003 (c,r)}$$

$$\text{USHR (c, s, "exp", r)} = \text{R004 (c,r)}$$

$$\text{USHR (c, s, "gov", r)} = \text{R005 (c,r)}$$

Por fim, a regionalização dos fatores primários (dimensão f, englobando trabalho, capital e terra) segue a participação da produção em cada região (R001), multiplicada pela matriz nacional de custos dos fatores, NFAC:

$$\text{FAC (i,f,r)} = \text{R001 (i,r)} \times \text{NFAC(i,f)}$$

3.5.3. Estimação da matriz de comércio inter-regional

O próximo passo é estimar a matriz TRADE, na qual, para cada produto doméstico ou importado, há uma submatriz 13 x 13 onde as linhas representam as regiões de origem e as colunas, às regiões de destino. A diagonal apresenta a produção que é consumida no mesmo local de produção. Até aqui, com os cálculos anteriores, sabe-se o total das linhas (oferta por produto e região) e o total das colunas (demanda por produto e região) de cada submatriz, mas não a distribuição em cada uma. Formalmente, sendo

$$\text{Oferta_R (c,s)} = \text{soma}\{\text{r, ORG, Oferta (c,s,r)}\}$$

$$\text{Demanda_R (c,s)} = \text{soma}\{\text{r, DST, Demanda (c,s,r)}\}$$

Temos que:

$$\text{Oferta_R}(c,s) = \text{soma}\{r, \text{ORG}, \text{TRADE}(c,s,r,d)\}$$

$$\text{Demanda_R}(c,s) = \text{soma}\{d, \text{DST}, \text{TRADE}(c,s,r,d)\}$$

A literatura em modelagem multirregional *bottom-up* de equilíbrio geral computável segue a proposta de Horridge, Madden & Wittwer (2005) de utilizar a abordagem gravitacional, calibrada com uma matriz de distâncias, para construir as matrizes da TRADE consistentes com os totais predeterminados. A abordagem gravitacional considera que o comércio é inversamente proporcional à distância entre as regiões e diretamente proporcional ao tamanho de suas economias. Nesta tese, a mesma abordagem é empregada, e a matriz de distâncias foi calculada a partir da distância em estrada entre os centroides das regiões modeladas¹⁹.

Segundo Carvalho (2014), o fluxo comercial estimado pela hipótese gravitacional geralmente é calculado com a seguinte fórmula:

$$V_{r,d} = \frac{\gamma_r \mu_d S_r}{(D_{r,d})^2} \text{ com } r \neq d$$

Onde $V_{r,d}$ é a matriz TRADE, fluxo de renda de r para d , para dado produto de certa origem; S_r é Oferta_R(c,s), $D_{r,d}$ é a distância entre as regiões r e d , e γ_r e μ_d são tais que

$$\sum_r V_{r,d} = V_{*,d} \text{ e } \sum_d V_{r,d} = V_{r,*}$$

Sendo $V_{*,d}$ a demanda total da região d e $V_{r,*}$ a oferta total da região r .

Entretanto, essa fórmula levaria a erros sistemáticos, principalmente a superestimação dos fluxos de comércio no caso em que uma região pequena está rodeada por regiões grandes. Alternativamente, Carvalho (2014) apresenta as seguintes correções. O fluxo satisfeito localmente seria dado por:

$$V_{d,d} = \min \left\{ 1, \frac{V_{d,*}}{V_{*,d}} \right\} \times [1 - (0,2)^k]$$

Onde k é uma constante que representa o grau de mobilidade do bem, de acordo com Horridge, Madden & Wittwer (2005). Se $V_{d,*}/V_{*,d} < 1$, segue da equação acima que $V_{d,d} =$

¹⁹ O centroide da região Resto de Minas Gerais foi estabelecido em Curvelo. Para Resto do Pará, o centroide é Belém, enquanto que para os demais estados (Maranhão, Espírito Santo e São Paulo), corresponde à capital. Para o Restante do Brasil, como centroide foi considerada Brasília.

$(V_{d,*}/V_{*,d}) \times [1 - (0,2)^k]$; além disso, para a região de destino d , assume-se:

$$V_{r,d} = \frac{\sqrt{S_r}}{(D_{r,d})^k \gamma_r \delta_d}$$

Onde γ_r é tal como antes, e $\delta_d = 0,1$, se $V_{d,*}/V_{*,d} < 1$, isto é, a demanda da região é superior à oferta total da mesma; ou $\delta_d = 1$, se $V_{d,*}/V_{*,d} \geq 1$, ou seja, se a oferta é suficiente para fazer frente à demanda local.

Por fim, a razão dos custos de transporte (TRADMAR) sobre os fluxos de comércio de uma região r para a região d é proporcional à raiz da distância entre as localidades. A maior desagregação da base de dados permite colocar, *ad hoc*, como 0 alguns fluxos de comércio que se sabe serem inexistentes, o que diminui os erros decorrentes da suposição gravitacional (HORRIDGE, MADDEN & WITWER, 2005).

Os valores calculados de $V_{r,d}$ passaram por um procedimento de escalonamento denominado de métodos RAS, que ajusta os valores das linhas e colunas da matriz de forma proporcional ao total das mesmas. Assim, os valores iniciais das células originam a um novo conjunto de valores, mantendo a consistência entre as somas das colunas e linhas e seus respectivos valores totais (CARVALHO, 2014). O método é iterado 3 vezes, a fim de minimizar os erros. Isso visa garantir que os fluxos de comércio respeitem as identidades contábeis descritas no Quadro 4.

Quadro 4. Condições de equilíbrio fluxos comerciais

Equação	Descrição
$\text{BASIC_U}(c,s,d)$ $=$ $\text{soma}\{r, \text{ORG}, \text{TRADE}(c,s,r,d)\}$	Para cada bem, de determina origem, consumido na região d , a soma das transações comerciais tendo como destino essa região deve igualar ao agregado dos fluxos básicos de todos os usuários da mesma localidade.
$\text{MARGINS_U}(c,s,m,d)$ $=$ $\text{soma}\{r, \text{ORG}, \text{TRADMAR}(c,s,m,r,d)\}$	Para cada margem empregada para a realização comercial de certo bem, de determina origem, na região d , a soma das margens tendo como destino essa região deve igualar ao agregado de margens de todos os usuários da mesma localidade.
$\text{IMPORT}(c,r)$ $=$ $\text{soma}\{d, \text{DST}, \text{TRADE}(c, \text{"imp"},r,d)\}$	Para dado bem importado que entra na região r , as transações de bens estrangeiros tendo como destino essa região deve se igualar às importações no porto de r .
$\text{MAKE_I}(ss,r)$ $=$ $\text{soma}\{d, \text{DST}, \text{TRADE}(c, \text{"dom"},r,d)\}$ <p>(para ss bens que não são margem)</p> $\text{MAKE_I}(m,r)$ $=$ $\text{soma}\{d, \text{DST}, \text{TRADE}(m, \text{"dom"},r,d)\}$ $+$ $\text{soma}\{r, \text{ORG}, \text{SUPPMAR}(m, r,d,p)\}$ <p>(para bens que são margem)</p>	Para cada bem produzido em r , a soma das transações domésticas originando-se em r , sem margem ou com margem (adicionando-se aqui o valor do uso indireto como margem), deve igualar à oferta doméstica.
$\text{TRADMAR_CS}(m,r,d)$ $=$ $\text{soma}\{c, \text{COM}, \text{soma}\{s, \text{SRC}, \text{TRADMAR}(c,s,m,r,d)\}\}$ $=$ $\text{soma}\{p, \text{PRD}, \text{SUPPMAR}(m,r,d,p)\}$	Para cada margem utilizada para facilitar o fluxo de r para d , a soma da oferta de margens para esse trajeto deve se igualar ao total de margens demandadas

Fonte: elaboração própria, a partir de Carvalho (2014).

O procedimento de regionalização gerou um modelo com 13 regiões e total consistência da base de dados com os dados oficiais das Contas Regionais, Contas Nacionais, Matriz de Insumo-Produto, informações do IBGE, Comércio Exterior (SECEX) e Emprego (RAIS). A base de dados passa por uma agregação posterior dos 123 setores em 23, seguindo tradução indicada no Anexo 03. Esse processo foi necessário para diminuir o custo computacional de executar a simulação, mas preservar o nível de detalhe setorial que importa à esta tese.

3.6. Elasticidades e parâmetros

Para além de dados regionais, a modelagem de equilíbrio geral computável requer um conjunto de parâmetros comportamentais e elasticidades, em adição às informações da Matriz de Insumo Produto. A Tabela 4 apresenta as principais estimativas empregadas neste modelo.

Tabela 4. Parâmetros e elasticidades do modelo

Parâmetro	Descrição	Dimensão	Valor
EPS	Elasticidade de gastos das famílias	COM x DST	1,00
EXP_ELAST	Elasticidade da demanda por exportações	COM	2,00
FRISCH	Parâmetro de Frisch	DST	-2,48
DPRC	Taxa de depreciação	IND	0,05
QRATIO	Razão investimento / capital (máximo)	IND x DST	4,00
RNORMAL	Taxa de retorno normal bruta	IND x DST	0,13
GROTREND	Razão investimento / capital (tendência)	IND x DST	0,07
ALPHA	Elasticidade do investimento	IND x DST	2,00
SIGMA1LAB	Elasticidade de substituição do trabalho	IND	0,10
SIGMA1PRIM	Elasticidade de substituição dos fatores primários	IND	0,63
ARMSIGMA	Elasticidade de substituição de bens intermediários	IND	2,00
SIGMADOMDOM	Elasticidade de substituição entre regiões	COM	5,00
SIGMAMAR	Elasticidade de subs. entre regiões que produzem margem	MAR	0,20
SIGMA1OUT	Elasticidade de transformação CET	IND	0,50

Fonte: elaboração própria.

As elasticidades de substituição entre fatores primários (SIGMA1PRIM) e elasticidades de substituição entre origem doméstica ou importada (ARMSIGMA) foram extraídas de Domingues *et al.* (2009). As elasticidades de gasto das famílias (EPS) foram extraídas de Hoffman (2010), empregando dados da POF. O parâmetro de Frisch²⁰, que mede a sensibilidade da utilidade marginal da renda, foi estimado para a economia brasileira em Domingues *et al.* (2009). As elasticidades de substituição entre regiões (SIGMADOMDOM) foram estimadas por Faria & Haddad (2014). Por fim, a elasticidade de substituição entre regiões de produção de margens foi considerada *ad hoc* como 0,2, indicando que a substituição entre margens de transporte e comércio é pequena.

Construída a base de dados e calibrados os principais parâmetros, o modelo está pronto para realizar a simulação de choque na produção mineral, a ser explicada no capítulo 5. Antes disso, a base de dados estimada pode ser empregada para efetuar a caracterização das regiões foco de estudo, evidenciando seus principais aspectos econômicos. Para isso, é possível a aferir os multiplicadores regionais de produção, que elucidam quais os setores produtivos que se destacam em cada território. A próxima seção, assim, descreve o cálculo desses multiplicadores a partir do modelo construído.

3.6. Análise de multiplicadores de produção

Os multiplicadores de produção correspondem à produção adicional gerada pelos efeitos direto e indireto dentro da cadeia produtiva em resposta ao aumento de uma unidade monetária na

²⁰ Quanto maior em módulo, menor a proporção de consumo de luxo e maior a proporção de subsistência (FRISCH, 1959).

demanda final de determinado setor (MILLER & BLAIR, 2009). Sua importância, para os fins desta tese, é auxiliar na caracterização da estrutura produtiva das regiões, evidenciando quais os setores com maior potencial de expansão.

Para obter os multiplicadores regionais de produção, é necessário realizar um procedimento com a base de dados construída para o modelo. Em primeiro lugar, a base é convertida em uma série de tabelas de insumo-produto regionais, cada qual apresentando a estrutura indicada na Figura 10. Cabe ressaltar que para esse cálculo, foi utilizada a versão da base regional desagregada em 123 setores, indicados no Anexo 03.

Figura 10. Estrutura tabela insumo-produto regional

	Industry	HOU	INV	GOV	EXPROW	EXPROC	Stocks
Commodity	123 x 123	123 x 1	123 x 1	123 x 1	123 x 1	123 x 1	123 x 1
Wage	1 x 123						
Capital	1 x 123						
Land	1 x 123						
ProdTax	1 x 123						
ROWimp	1 x 123	1 x1	1 x1	1 x1			1 x1
ROCimp	1 x 123	1 x1	1 x1	1 x1	1 x1		
InputTax	1 x 123	1 x1	1 x1	1 x1			

Fonte: elaboração própria. As entradas indicam a dimensão dos blocos de matrizes que constituem a tabela.

Em geral, o elemento $a_{i,j}$ representa o quanto a coluna j compra da linha i , ou quanto paga ao agente representado pela linha i . As linhas indicam os custos (COSTS), enquanto as colunas indicam os usuários (USER). O conjunto COSTS é composto dos seguintes elementos:

- *Commodity*: demanda, em valores básicos, para bens localmente produzidos.
- *Wage, Capital, Land*: pagamentos aos fatores trabalho, capital e terra.
- *ProdTax*: imposto sobre produção.
- *ROWimp*: importações, em valores básicos, produzidas no resto do mundo.
- *ROCimp*: importações, em valores básicos, produzidas no resto do país (demais regiões).
- *InputTax*: imposto total sobre bens pago por todas as mercadorias utilizadas pelo usuário (coluna).

O conjunto USERS engloba os seguintes elementos:

- *Industry*: todos os custos de cada indústria. Isto é, o quanto cada setor paga nas mercadorias usadas como insumos (produzidas localmente, importadas do resto do mundo ou de outras regiões), na remuneração aos fatores utilizados (trabalho, capital e terra) e impostos (sobre produção e sobre os insumos).
- *HOU* (Famílias), *INV* (Investidores) e *GOV* (Governo): o quanto cada demandante final paga nas mercadorias compradas (localmente ou importadas) e quanto paga de imposto sobre elas.
- *EXPROW*: valores básicos de cada bem produzido na região e exportado para o resto do mundo diretamente daquela região (isto é, não por intermédio de outra região).
- *EXPROC*: valores básicos de cada bem produzido na região e exportado para outra região, para uso nesta ou reexportação para o resto do mundo.
- *Stocks*: valores básicos de cada bem produzido na região e enviado para o estoque local.

Em segundo lugar, é empreendido um choque de 1% na demanda final de cada mercadoria. A mudança percentual na produção de determinada indústria em resposta ao choque na demanda final de todas as mercadorias é o que definimos como multiplicador de produção da indústria. Esse multiplicador auxilia na identificação dos principais setores de cada região, e por isso é utilizado no próximo capítulo, que efetua a contextualização dos territórios estudados por essa tese.

Capítulo 4. Caracterização das regiões minerárias de Minas Gerais

A fim de compreender os impactos da desaceleração da Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro sobre as regiões mineiras que são objeto de estudo, este capítulo devota-se a apresentar as principais características socioeconômicas dessas regiões no ano base do modelo, bem como a configuração do setor e da cadeia produtiva a jusante nestes territórios. A base de dados construída para o modelo foi desagregada em 123 setores para empreender uma caracterização mais detalhada. Os setores são apresentados no Anexo 03.

A Tabela 5 traz dados de população residente, PIB e CFEM para as 6 microrregiões em estudo e para os 22 municípios, dessas 6 unidades, que apresentaram operação mineral significativa em 2015, segundo dados de operação mineral pela ANM. A Tabela 5 também traz a Receita Corrente Bruta Realizada dos municípios, a arrecadação da cota-parte da CFEM e a participação da mesma na Receita Corrente.

A partir de dados da Tabela 5 verifica-se, além da grande participação da microrregião que abriga a capital mineira, que todas as regiões apresentam PIB *per capita* superior ao computado para Minas Gerais, com exceção de Conceição do Mato Dentro, cujo município-sede, por outro lado, também ultrapassa a média estadual. Cabe observar que alguns municípios mineradores possuem PIB per capita superior ao de Belo Horizonte, dentre eles, Conceição do Mato Dentro, Nova Lima, Brumadinho, Catas Altas, São Gonçalo do Rio Abaixo, Itatiaiuçu, Itabirito, Mariana, Ouro Preto e Congonhas. Além disso, em termos do PIB municipal, destacam-se Nova Lima, Ouro Preto e Itabira, municípios com grandes operações minerais. Com exceção de Itabira todos os demais municípios possuem população inferior a 100 mil habitantes e 12 municípios, população igual ou inferior a 30 mil habitantes.

A Tabela 5 também evidencia cidades cuja a receita advinda da cota-parte da CFEM é relevante. Dentre eles, Conceição do Mato Dentro, Catas Altas e Mariana, possuem aproximadamente 20% da receita corrente municipal relacionada a CFEM. Em outros 7 municípios (Nova Lima, Rio Piracicaba, Brumadinho, São Gonçalo do Rio Abaixo, Congonha, Itatiaiuçu e Itabirito), entre 9 e 19% de sua receita orçamentária estava vinculada à CFEM, de modo que as finanças municipais dependem diretamente das atividades de lavra.

O Anexo 04 traz, para cada microrregião, a participação dos 23 setores na economia regional, dado retirado da base construída para o modelo.

Tabela 5. Municípios e microrregiões selecionados, População residente, PIB, PIB per capita, cota-parte CFEM e Receita Corrente, 2015

Microrregião	Município minerador	População residente	PIB (R\$ milhões)	PIB per capita (R\$ mil)	Cota-parte CFEM (R\$ mil)	Receita Corrente (R\$ milhões)	CFEM/Receita Corrente
Conceição do Mato Dentro	Conceição do Mato Dentro	18.198	830	45,6	13.847	71	19,6%
	Microrregião	85.868	1.434	16,7			
Belo Horizonte	Belo Horizonte	2.502.557	87.310	34,9	150	8.394	0,0%
	Brumadinho	37.857	1.601	42,3	12.496	123	10,2%
	Caeté	43.739	570	13,0	529	75	0,7%
	Mário Campos	14.624	146	10,0	460	29	1,6%
	Mateus Leme	30.155	536	17,8	666	59	1,1%
	Nova Lima	89.900	7.289	81,1	47.536	510	9,3%
	São Joaquim de Bicas	29.162	520	17,8	177	63	0,3%
	Sarzedo*	29.889	739	24,7	5.050	97	5,2%
Microrregião	5.119.360	169.610	33,1				
Itabira	Barão de Cocais	31.270	779	24,9	4.437	101	4,4%
	Bela Vista de Minas	10.381	166	16,0	964	28	3,4%
	Catas Altas	5.230	275	52,6	6.395	33	19,5%
	Itabira	117.634	3.799	32,3	38.712	471	8,2%
	Rio Piracicaba	14.602	355	24,3	3.339	38	8,8%
	Santa Bárbara	30.169	698	23,1	5.644	91	6,2%
	São Gonçalo do Rio Abaixo	10.588	1.793	169,4	29.532	195	15,1%
Microrregião	401.315	11.478	28,6				

Tabela 5. Municípios e microrregiões selecionados, População residente, PIB, PIB per capita, cota-parte CFEM e Receita Corrente, 2015 (cont.)

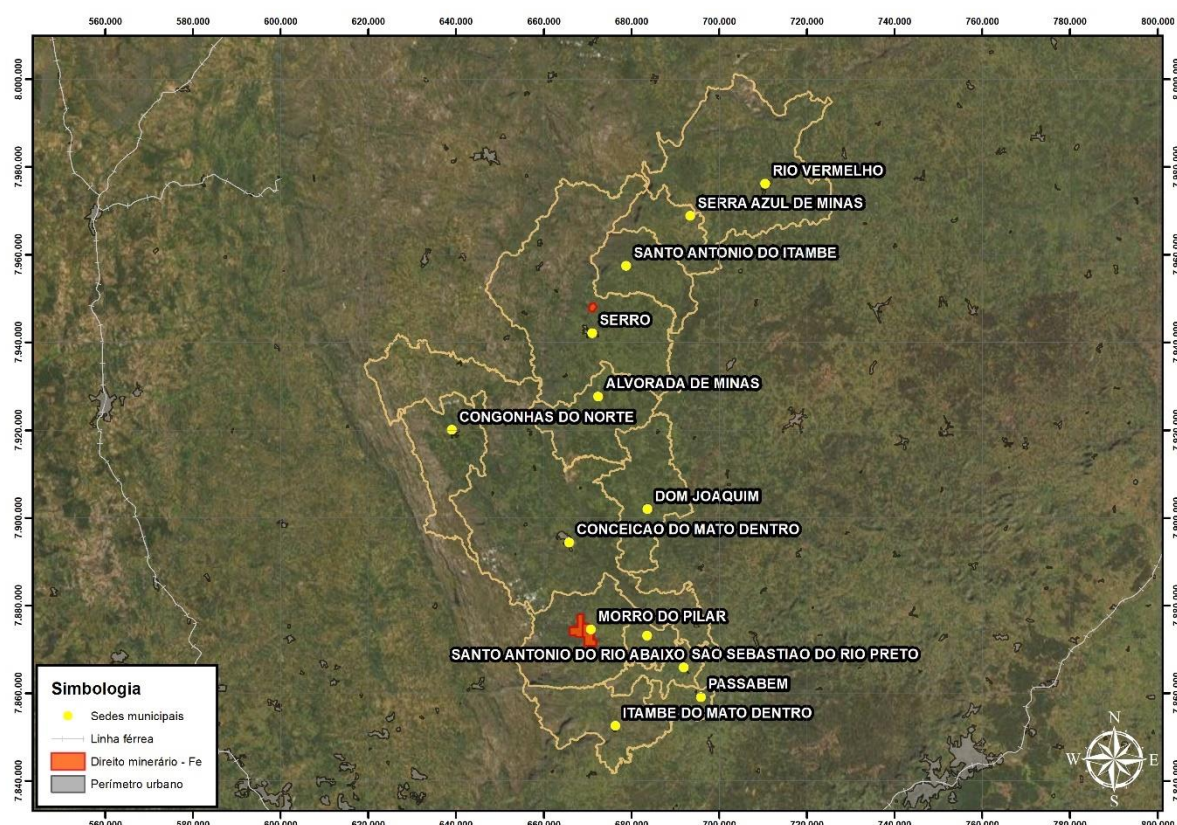
Microregião	Município minerador	População residente	PIB (R\$ milhões)	PIB per capita (R\$ mil)	Cota-parte CFEM (R\$ mil)	Receita Corrente (R\$ milhões)	CFEM/Receita Corrente
Itaguara	Belo Vale	7.816	117	15,0	5.022	37	13,6%
	Itatiaiuçu	10.781	741	68,7	7.267	81	9,0%
	Microregião	64.626	1.994	30,9			
Ouro Preto	Itabirito	49.768	2.920	58,7	33.858	231	14,6%
	Mariana	58.802	3.255	55,3	61.562	324	19,0%
	Ouro Preto	74.036	3.918	52,9	25.608	307	8,4%
	Microregião	186.529	10.123	54,3			
Conselheiro Lafaiete	Congonhas	52.827	2.847	53,9	43.031	331	13,0%
	Microregião	265.383	8.494	32,0			
Minas Gerais	Estado	20.869.101	519.331	24,9			

Fonte: PIB municipal, IBGE. População residente estimada (tabela 6579), IBGE. Receitas Orçamentárias, exercício 2015, municípios do estado de Minas Gerais, Finbra / SICONFI. * Sarzedo não apresentava arrecadação nos dados da SICONFI, mas o município constava na Distribuição de CFEM do estado de Minas Gerais, disponível no Sistema Arrecadação da ANM.

4.1. Conceição do Mato Dentro

A microrregião de Conceição do Mato Dentro abriga o município minerador de mesmo nome. A Figura 11 traz os municípios da microrregião, bem como os polígonos minerais associados à mineração do ferro. Essa seção discorre brevemente sobre o município sede da micro e sua relação histórica e econômica.

Figura 11. Microrregião de Conceição do Mato Dentro e polígonos minerais de ferro



Fonte: elaboração própria.

O município de Conceição do Mato Dentro situa-se na região setentrional do estado de Minas Gerais, a aproximadamente 160 km de Belo Horizonte e possui uma área de 1.727 km². A população residente, de acordo com dados de 2015, era de 18.198 habitantes.

Fundada em 8 de dezembro de 1702, sua história está intimamente ligada às bandeiras paulistas, por meio das quais os portugueses se apropriaram do sertão brasileiro nos séculos XVIII e XIX abrindo estradas, multiplicando vilas e povoados. Na província mineira, apropriaram-se da região do Mato Dentro, na qual os índios Botocudos se embrenhavam, demonstrando uma peculiar forma de adaptar-se às florestas tropicais.

Mais tarde, com o trabalho forçado dos negros trazidos da África, os bandeirantes transformaram a região em um promissor centro urbano, onde a principal atividade econômica era a mineração. Após a decadência da atividade, nas vilas e povoados distribuídos ao longo das antigas vias de escoamento, permaneceram a imponência da arquitetura barroca dos templos católicos e casarões coloniais, e a pequenez da vida social e política de uma população presa às tradições religiosas, sobrevivendo da economia de subsistência nas terras agricultáveis do Maciço do Espinhaço. Esse legado deixado pelos bandeirantes, índios e negros virou tema de roteiro e reordenação de parte do território mineiro para o uso turístico com o Programa Estrada Real. Criado em 1999 pelo governo do estado, o programa de turismo tinha o objetivo de promover o desenvolvimento dos municípios situados na área de influência daqueles antigos caminhos — Caminho Velho, Caminho Novo e Caminho dos Diamantes — por onde a coroa portuguesa fez escoar o minério para a metrópole nos séculos XVII, XVIII e XIX (BECKER, 2009).

Nesta perspectiva de desenvolvimento, Conceição do Mato Dentro se preparava para preservar o seu patrimônio histórico-cultural e natural. Para tanto, criou-se a SEMAT (Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Turismo) em 2000, ampliando a rede institucional de participação com a criação dos conselhos municipais de Desenvolvimento Ambiental, o CODEMA (1991), de Patrimônio Cultural (1997), de Turismo (1997), de Desenvolvimento da Atividade Rural (2001), entre outros; consolidaram-se áreas de proteção ambiental, criando unidades de conservação ambiental: Parque Municipal Ribeirão do Campo (1998), APA Serra do Intendente (1998) e Parque Municipal Salão de Pedras (1999); formularam-se normativas de planejamento territorial como o Plano Diretor (2003) e a Política Municipal de Turismo Responsável (2005). Nesse período, observa-se que o desenvolvimento da atividade turística, ainda que incipiente, possibilitou certa dinamização da economia local com expressivo crescimento da malha hoteleira, ganhando credibilidade por parte da população, especialmente, aquela vinculada às atividades turísticas (BECKER, 2009).

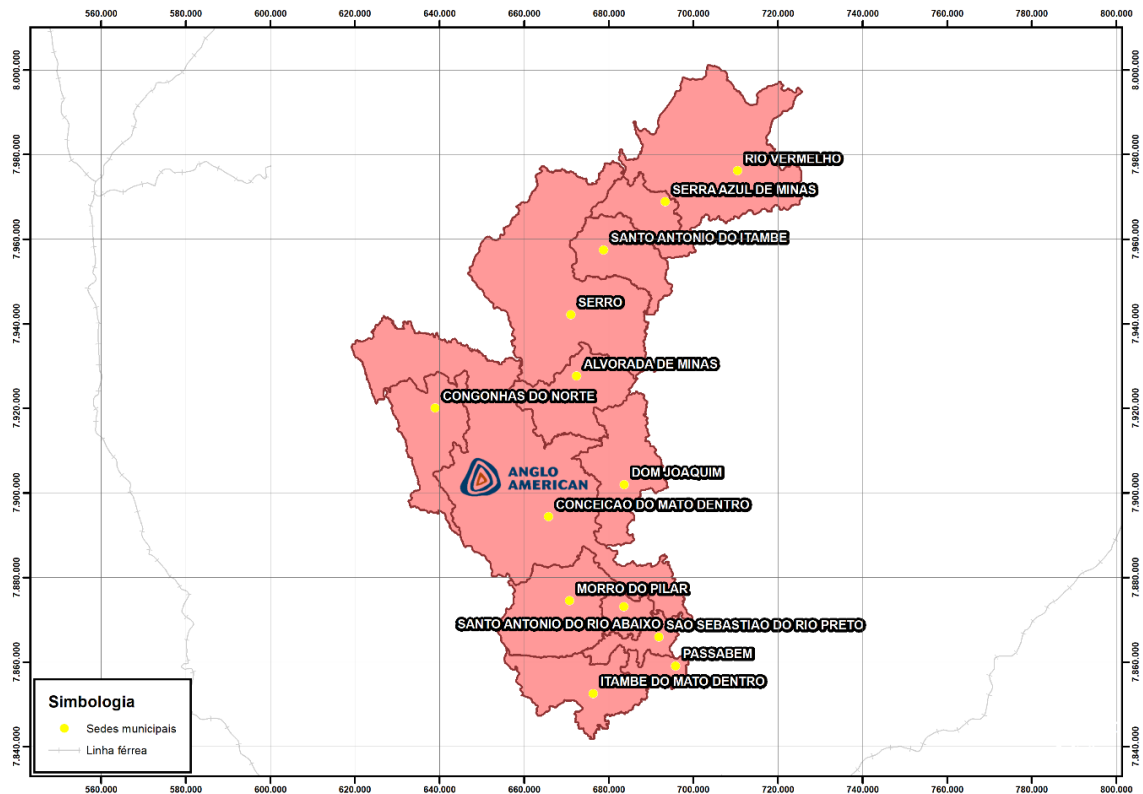
No ano de 2015, estavam registrados 24 direitos minerários, dos quais 3 estavam em nome da mineradora Anglo American, para extração de minério de ferro. A Vale planeja operar em Morro do Pilar, já possuindo concessão de lavra no município.

A Anglo American é uma das maiores mineradoras do mundo, com sede no Reino Unido e negócios nas áreas de minério de ferro, manganês, carvão metalúrgico e mineral, metais básicos e minerais (cobre, níquel, nióbio e fosfatos) e metais e minerais preciosos (principalmente

platina e diamante dos quais é líder global em comercialização). As operações do grupo empresarial estão presentes no sul da África, América do Sul, Austrália, América do Norte, Ásia e Europa.

A empresa atua no Brasil desde 1973 e tem em Conceição do Mato Dentro o seu principal projeto em nível mundial, o Complexo Minerário do Sistema Minas-Rio, adquirido da MMX Metal e Metálicos em 2008. O empreendimento, que obteve concessão de lavra em 2010, consiste na instalação e operação de minério de ferro nas Serras da Ferrugem e do Sapo. É composto por mina a céu aberto, uma usina de beneficiamento nos territórios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim e um mineroduto, com 529 km de extensão, que passa por 33 municípios dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, levando o minério extraído até o terminal marítimo no Porto do Açu, na cidade fluminense de São João de Barra, de onde é exportado via mar. Em 2015, a produção bruta de minério de ferro foi da ordem de 29,7 Mt (ANM, 2020a), e a empresa participou com 3,7% do valor da operação mineral estadual no que diz respeito ao ferro. A Figura 12 ilustra a configuração da cadeia mineral do ferro em Conceição do Mato Dentro, com a presença apenas da Anglo American.

Figura 12. Principais empresas da cadeia mineral do ferro em Conceição do Mato Dentro



Fonte: elaboração própria.

As reservas de minério de ferro são extraídas das serras do Sapo e da Ferrugem, numa cava de cerca de 12 km de extensão, que tem uma vida útil de aproximadamente 52 anos de operação contínua. A fase inicial da operação do Sistema Minas-Rio explora as frentes de lavra da cava da serra do Sapo, uma porção reduzida da reserva mineral. Desse modo, já era prevista a expansão gradativa das áreas de cava para ampliações do empreendimento. O projeto de Expansão da Mina do Sapo visa justamente dar continuidade à exploração planejada e garantir a capacidade produtiva do empreendimento. Entre as novas estruturas necessárias para a expansão do empreendimento estão a implantação de quatro diques na microbacia do córrego Bom Sucesso e o alteamento a jusante da Barragem de Rejeitos existente com capacidade de 370 milhões de m³. No processo de expansão, as atividades minerárias se aproximaram das comunidades do São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo), Cabeceira do Turco e Turco.

O processo de licenciamento ambiental inclui a realização de reuniões com o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) e com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento

Sustentável (SEMAD) para tratar de temas socioeconômico, recursos hídricos, flora, fauna, patrimônio cultural e segurança de barragens. Além disso, paralelo e em apoio à atuação desses órgãos, há uma rede de organizações não governamentais e movimentos políticos pressionando contra a continuidade das atividades minerárias na região e/ou exigindo novas contrapartidas e compensações junto à Anglo American, assim como atuando diretamente junto às comunidades das áreas direta e indiretamente afetadas pelo empreendimento. Entre os principais grupos à frente desses movimentos estão a Comissão de Direitos Humanos da Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, a Rede de Acompanhamento Socioambiental (REASA), o Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB), a Rede de Acompanhamento e Justiça Ambiental dos Atingidos do Projeto Minas-Rio (REAJA) e o Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens (NACAB).

O resultado dessa dupla ação, de organizações governamentais e não governamentais, levou à obrigatoriedade de contratação, pela Anglo American, de uma assessoria técnica independente e multidisciplinar, escolhida pelas comunidades envolvidas, para acompanhar os impactos do empreendimento sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, as ações de recuperação ambiental e de segurança de barragens e, em geral, para interferir em todo o processo de negociação das compensações junto às comunidades afetadas. A assessoria técnica escolhida para ser contratada foi a NACAB e isso representa um fato inédito para a Anglo American em termos de relacionamento com as comunidades afetadas pelo empreendimento Minas-Rio. Tal situação, inédita, no Brasil, em um território no qual não houve rompimento de barragens de rejeito da mineração, cria uma tendência crescente por direitos compensatórios.

No ano de 2020 o complexo encontra-se em sua fase III, extensão das atividades da Mina do Sapo, em que se planeja a ampliação da cava da mina e o primeiro alteamento da barragem de rejeitos. Fato este que repercutiu na mídia, uma vez que o artigo 12 da Lei “Mar de Lama Nunca Mais” explicita a restrição sobre alteamentos em barragens de rejeito que possuem comunidades nas zonas de autossalvamento, como é o caso das comunidades de São Jose do Jassém, Águas Quentes e Passa Sete, localizadas a jusante da barragem.

A cidade de Conceição do Mato Dentro possuía, em 2015, PIB *per capita* de R\$ 45,6 mil, maior que o apresentado pela microrregião, de R\$ 16,7 mil. A importância da renda mineral para o município se reflete na arrecadação fiscal: a cota-parte da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) respondeu por 19,6% da receita corrente bruta realizada de Conceição do Mato Dentro em 2015.

Para empreender uma análise econômica da estrutura produtiva da microrregião captando os diferenciais regionais de especialização e concentração produtiva, foram calculados três indicadores de economia regional, que utilizam dados de emprego: Quociente Locacional, Participação Relativa e índice Hirschman-Herfindal Modificado. Para maiores detalhes desses indicadores, conferir o Anexo 01. A Tabela 6 traz os setores para os quais cada indicador apresentou valor superior a 1 desvio padrão, em relação à média computada para os 123 setores do modelo.

Tabela 6. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Conceição do Mato Dentro

Setores	Descrição	QL	PR	HHm
BovOutAni	Bovinos e Outros Animais Vivos, Prods. Animal, Caça e Serv.	3,13	0,7%	0,5%
LeiteVacOut	Leite de Vaca e de Outros Animais	2,51	0,5%	0,3%
MinerFerro	Minério de Ferro	18,59	4,0%	3,8%
ProdTrigMan	Produtos Derivados do Trigo, Mandioca ou Milho	2,77	0,6%	0,4%
Edificacoes	Edificações	2,37	0,5%	0,3%

Fonte: cálculo a partir de base de dados utilizada para o procedimento de regionalização do modelo. RAIS / ME, 2015.

De acordo com dados da Tabela 6, a microrregião apresenta elevada especialização na produção de minério de ferro, com QL muito superior à unidade e Participação Relativa contando 4% do emprego setorial no estado. Para além da mineração, destacam-se atividades da agropecuária como Bovinos e Outros Animais Vivos, Prods. Animal, Caça e Serv. (BovOutAni), Leite de Vaca e de Outros Animais (LeiteVacOut) e Produtos Derivados do Trigo, Mandioca ou Milho (ProdTrigMan). Segundo a Pesquisa Agrícola Municipal de 2015, disponibilizada pelo IBGE, cerca de 52,3% da área agrícola dos municípios da microrregião de Conceição do Mato Dentro é dedicada à plantação de milho, 18,7% à cana de açúcar, 13,3% a feijão e 8,9% ao cultivo de mandioca. Além disso, a micro possuía um efetivo de 168 mil cabeças de gado, 8 mil equinos, 16 mil suínos e 148 mil galináceos – dados da Pesquisa da Pecuária Municipal de 2015, disponibilizada pelo IBGE. Outro setor que apresentou relevância, Edificações, possivelmente é decorrente do desenvolvimento urbano da região, ensejado pela implantação de empreendimentos minerais no início da década de 2010.

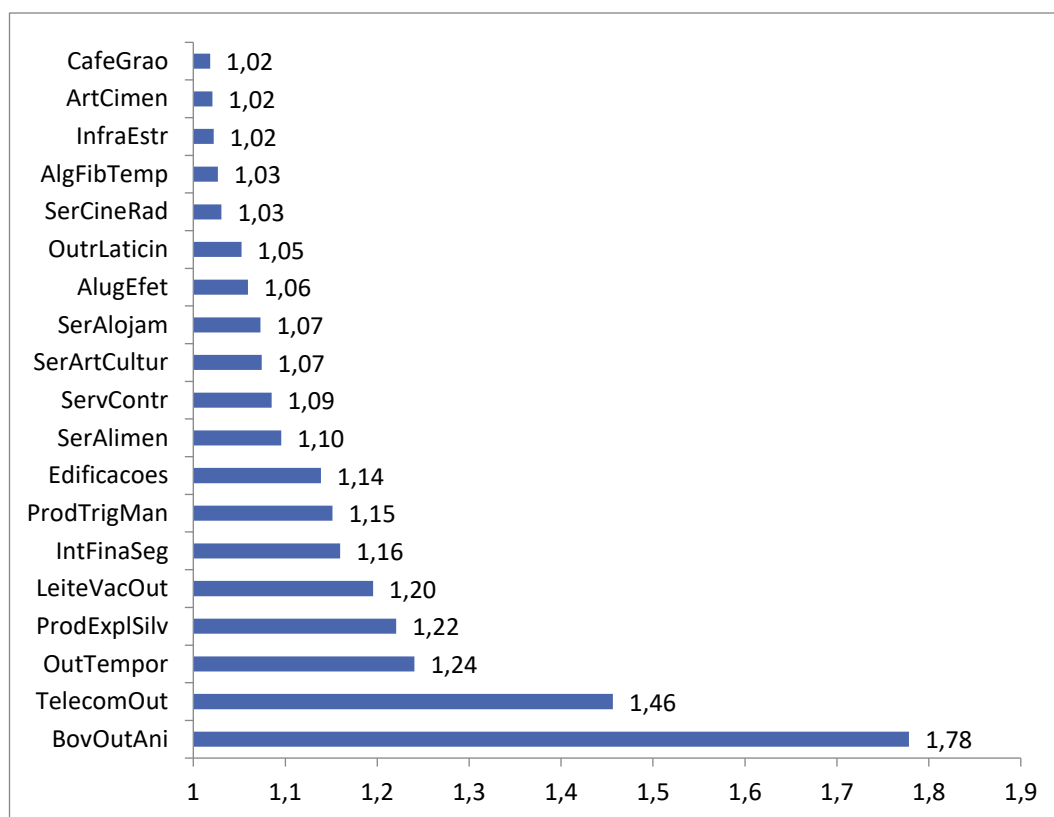
Em especial, para o município de Conceição do Mato Dentro, para além do setor de turismo cultural e ecológico, destacam-se como principais produtos a cana de açúcar, o café, o feijão, a banana, o milho e a mandioca. Na pecuária, as atividades relativas ao gado de corte e o gado

leiteiro são bastante expressivas. O município conta ainda com indústrias de pequeno porte, com destaque para a indústria artesanal, na qual o município conta com pequenas fábricas de aguardentes, laticínios, farinha de mandioca e rapadura, vinculadas a produção agroartesanal, principalmente.

A análise de multiplicadores de produção para a microrregião confirma esse cenário esboçado pelos indicadores de QL. Como descrito na seção 3.6, os multiplicadores de produção referem-se à produção gerada pelos efeitos direto e indireto²¹ dentro da cadeia produtiva do aumento de uma unidade monetária (R\$ 1,00) na demanda final de determinado setor, de modo que quanto maior o multiplicador, maior o impacto que o setor gera sobre a produção de toda a economia da região, denotando grande potencial de expansão e fomento das demais atividades produtivas. O Gráfico 7 indica os segmentos com maior multiplicador na região de Conceição do Mato Dentro, reforçando a importância econômica, para a localidade, das atividades agropecuárias, indústrias de transformação de gêneros agrícolas e serviços relacionados ao setor imobiliário, além do Setor Telecomunicações, TV por Assinatura e Outros Serviços Relacionados (TelecomOut) e Intermediação Financeira, Seguros e Previdência Complementar (IntFinaSeg).

²¹ O efeito direto mede o impacto da variação da demanda final de um dado setor *j* sobre as atividades que são fornecedoras de insumos diretamente ao setor *j*, enquanto o efeito indireto mensura o impacto da variação da demanda final de um dado setor *j* sobre as atividades que são fornecedoras de insumos indiretamente ao setor *j*, ou seja, os efeitos da cadeia de suprimentos para atender a essa demanda.

Gráfico 7. Setores com maior multiplicador de produção (%), Conceição do Mato Dentro



Fonte: elaboração própria a partir de dados do modelo.

Além dos segmentos indicados na Tabela 6, os setores que apresentam vínculos com a agroindústria são Outros Produtos e Serviços de Lavoura Temporária (OutTempor), Algodão Herbáceo, Outras Fibras da Lavoura Temporária (AlgFibTemp), Produtos da Exploração Florestal e da Silvicultura (ProdExplSilv), Outros Produtos de Laticínios (OutrLaticin) e Café em Grãos (CafeGrao). Relacionados ao mercado imobiliário, além do setor Edificações (Edificacoes), destacam-se Serviços Especializados para Construção (ServContr), Obras de Infraestrutura (InfraEstr) e Aluguel Efetivo e Serviços Imobiliários (AlugEfet). Também apresentariam maior multiplicador as aquelas atividades relacionadas à Indústria Cultural e Criativa: Serviços de Alimentação e Serviços de Alojamento em Hotéis e Similares (SerAlojam, SerAlim) e Serviços de Artes e Recreação (SerArtCultur).

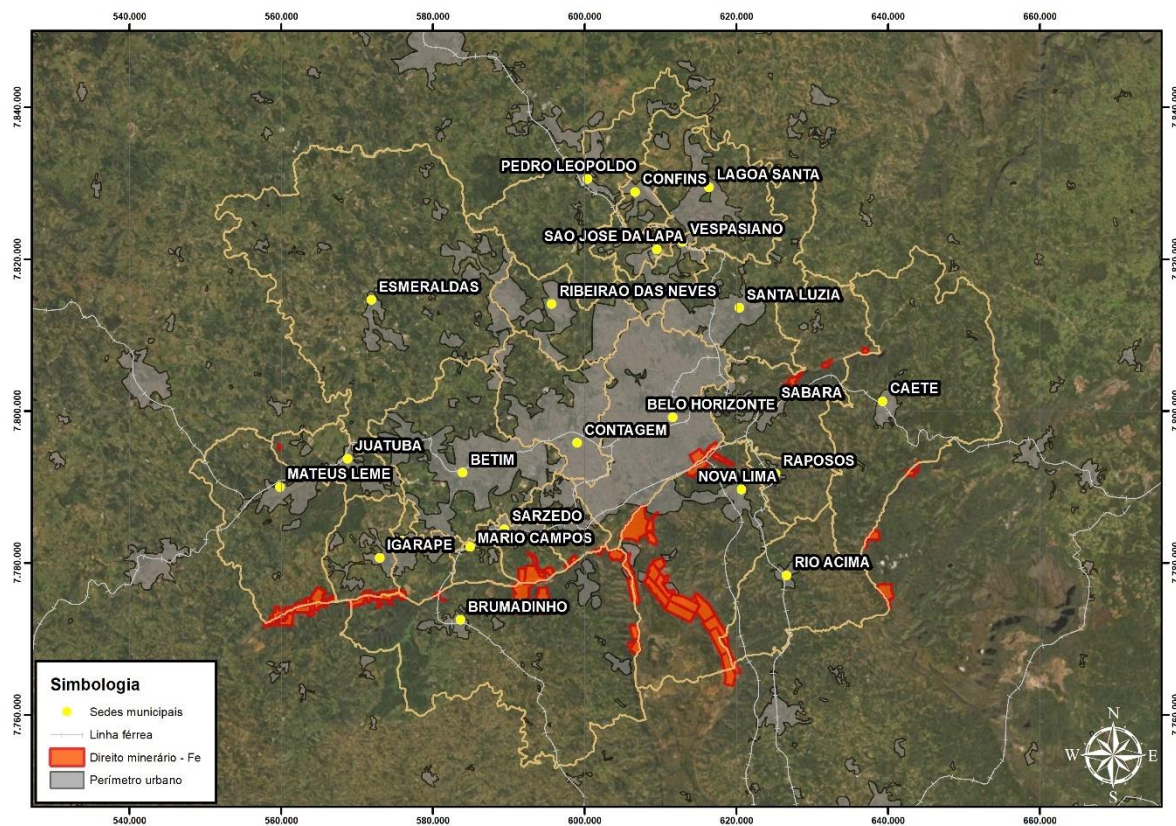
Verifica-se, quanto à configuração da produção setorial, quanto às receitas municipais e indicadores de especialização, que Conceição do Mato Dentro apresenta acentuada dependência em relação à extração de ferro, dependência que foi construída na década de 2010. Trata-se de uma região afastada dos grandes centros urbanos, de acesso dificultado e com infraestrutura

logística restrita, caracterizada pela especialização na agropecuária, para além da mineração. A baixa diversificação produtiva e a prevalência de atividades de baixo valor agregado são tendências regionais, o que tende a continuar, caso não sejam direcionadas políticas de desenvolvimento regional.

4.2. Belo Horizonte

A microrregião de Belo Horizonte concentrava, em 2015, 33% do PIB estadual e 25% da população residente do estado. É a região mais diversificada economicamente e com menor participação da Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro, que conta 2,2% da economia da microrregião. Os setores com maior percentagem do valor da produção regional são Serviços (33,1%), Indústria (13,0%) e Construção Civil (9,3%), de acordo com a base de dados construída para o modelo, com ano base 2015 (Anexo 04). A Figura 13 traz os municípios da microrregião, bem como os polígonos minerais que extraem ferro.

Figura 13. Microrregião de Belo Horizonte e polígonos minerais de ferro



Fonte: elaboração própria.

Esse resultado se verifica apesar da presença de municípios com grande atividade mineral, como Nova Lima e Brumadinho. De acordo com dados da produção mineral por município (ANM, 2020a), a produção bruta de minério de ferro em Nova Lima somou 51,2 Mt em 2015, 16,8 Mt em Brumadinho e 9,7 Mt em Sarzedo. A capital do estado apresentou produção de 1,2 Mt em 2015; Caeté, Mateus Leme, Mário Campos e São Joaquim de Bicas também apresentam produção, mas em quantidade inferior.

A Tabela 7 mostra as empresas que geraram o recolhimento de CFEM no ano de 2015, a respeito de operações minerais de ferro em municípios da microrregião de Belo Horizonte. Verifica-se proeminência da Vale, por lavra própria ou subsidiárias, em especial em Brumadinho e Nova Lima. As duas cidades participam com 5,1% e 16% da operação mineral do estado, respectivamente. A Figura 14 ilustra a configuração da cadeia mineral em Belo Horizonte.

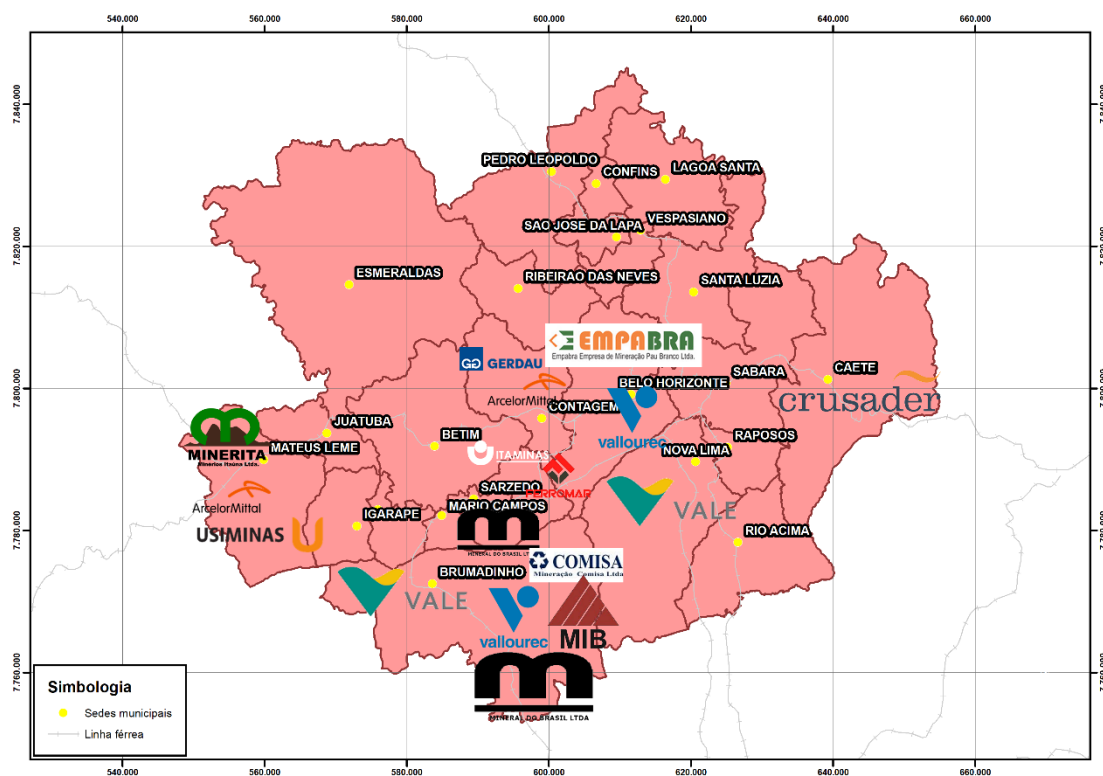
Tabela 7. Empresas em operação na microrregião de Belo Horizonte

Município	Empresa	Participação operação mineral do estado
Belo Horizonte	Embrapa Empresa de Mineração Pau Branco Ltda	0,03%
Brumadinho	Vale S.A.	1,88%
Brumadinho	Minerações Brasileiras Reunidas S.A. (subsidiária da Vale)	1,58%
Brumadinho	Vallourec Mineração Ltda*	1,24%
Brumadinho	Mib Mineração Ibirité Ltda	0,26%
Brumadinho	Mineração Comisa Ltda.	0,08%
Brumadinho	Mineral do Brasil Ltda.	0,03%
Brumadinho	Empresa de Mineração Esperança S.A.	0,03%
Caeté	Crusader do Brasil Mineração Ltda	0,07%
Mário Campos	Mineral do Brasil Ltda.	0,10%
Mateus Leme	ArcelorMittal Mineração Serra Azul S.A.*	0,10%
Mateus Leme	Minerita Minérios Itaúna Ltda.	0,04%
Mateus Leme	Mineração Usiminas S.A.*	0,04%
Nova Lima	Minerações Brasileiras Reunidas S.A. (subsidiária da Vale)	14,42%
Nova Lima	Márcio Resende Lima	1,35%
Nova Lima	Extrativa Mineral Ltda	0,22%
São Joaquim de Bicas	Empresa de Mineração Esperança S.A.	0,03%
Sarzedo	Ferromar Industria e Comércio Ltda	1,45%
Sarzedo	Minerações Brasileiras Reunidas S.A. (subsidiária da Vale)	0,25%
Sarzedo	Itaminas Comércio de Minérios S.A.	0,00%

Fonte: Sistema Arrecadação CFEM (ANM, 2020b). * Empresa siderúrgica.

O município de Belo Horizonte, que aparece com participação diminuta na Tabela 7, apresentava uma operação mineral na Serra do Curral, realizada pela Empresa de Mineração Pau Branco Ltda. (Empabra) na Mina de Corumi. A empresa obteve a concessão de lavra em 1958, e extraiu minério de ferro até a paralisação das atividades minerárias em 1990, por solicitação do Ministério Público e da Prefeitura de Belo Horizonte, que convocaram a Empabra a executar o Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). Por meio de um aditivo firmado com o Ministério Público e a Prefeitura de Belo Horizonte em 2009, a empresa foi autorizada a movimentar um total de 4,0 milhões de toneladas de minério. Entretanto, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) verificou que a extração minerária realizada pela empresa divergia do disposto no acordo de recuperação ambiental, de modo que, em 2018, suspendeu as atividades da Empabra na mina do Corumi (O TEMPO, 2018).

Figura 14. Principais empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Belo Horizonte



Fonte: elaboração própria. Belo Horizonte: Empabra (Empabra Empresa de Mineração Pau Branco) e uma unidade comercial da Vallourec Soluções Tubulares. Contagem: unidade comercial da Gerdaul e da ArcelorMittal. Nova Lima: MBR (Vale). Brumadinho: Vale e MBR, Vallourec, Mib Mineração Ibrité, Mineração Comisa e Mineral do Brasil. Caeté: Crusader do Brasil Mineração. Mário Campos: Mineral do Brasil. Mateus Leme: ArcelorMittal, Mineração Usiminas e Minerita. Sarzedo: Itaminas, MBR (Vale) e Ferromar.

Não obstante o papel diminuto da capital na extração propriamente dita, Belo Horizonte carrega uma importância institucional para a mineração de minério de ferro. Além da unidade regional da Agência Nacional da Mineração, estão no município as sedes administrativas de importantes empresas da cadeia mineral, como Mineração Usiminas, Samarco, e das filiais brasileiras da Anglo American e da ArcelorMittal. Também em Belo Horizonte está a sede do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), organização sem fins lucrativos criada em 1970 para representar as firmas do setor extrativo, e que reúne hoje mais de 130 firmas da cadeia minerária, responsáveis por 85% da produção mineral do Brasil.

Além disso, desde 2019, Belo Horizonte hospeda o *Mining Hub*, primeiro *hub* de inovação do setor mineral no mundo, que tem como associados 22 mineradoras e 16 fornecedores. O *Mining Hub* atua intermediando empresas e projetos, não exige participação acionária na *startup* e

assegura a propriedade intelectual dos projetos aos empreendedores. A cada ciclo de editais, as startups inscrevem projetos e, caso selecionadas, trabalham 4 meses com a mineradora que “apadrinhou” financeiramente a iniciativa – sob a forma de “cliente anjo”²². É, assim, uma iniciativa única no mundo, contribuindo para a adoção de novas tecnologias e novos processos pelas grandes empresas minerais, e, assim, para o fortalecimento do ecossistema de inovação do setor mineral.

A centralidade de Belo Horizonte na indústria minerária se justifica ainda pela presença de um *pool* de mão de obra qualificada, tanto nas operações da cadeia mineral quanto nas atividades administrativas e financeiras de suporte. Criado em 1966, o Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, em conjunto com a Escola de Minas de Ouro Preto, possibilitou a formação de um aparato técnico e acadêmico que ocuparia posições de liderança nas empresas da cadeia mínero-metalúrgica no estado. A Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), fundada em 1972, é um centro de pesquisas voltado para prestação de serviços e difusão tecnológica, com larga experiência no trabalho conjunto com empresas, especialmente aquelas ligadas ao setor mínero-metalúrgico.

Em Nova Lima está uma unidade administrativa regional da Vale, no território da antiga Mina de Águas Claras, e a sede nacional da Anglogold Ashanti. O município é historicamente associado à mineração do ouro, remontando à década de 1720, com o início da exploração da Mina de Morro Velho. Em 1795, todas as concessões das minas da região foram adquiridas pela família Freitas, dando início a uma produção aurífera mais sistematizada. O esgotamento das reservas de ouro de aluvião, entretanto, levou a um esvaziamento da cidade, sendo relatado por Augustine Saint-Hilaire, em 1818, que o esgotamento das reservas dos arraiais nas redondezas de Nova Lima anunciava sua decadência e abandono (FIGUEIREDO, 2017, p. 27). Não obstante, as operações minerais foram vendidas em 1834 para a inglesa *Saint John Del Rey Mining Company*, iniciando uma nova fase na exploração aurífera na região. Para Nova Lima, abrigar uma empresa de mineração do tamanho da Saint John D’el Rey, no início do século XIX, foi motivo de enorme transformação urbana: com um efetivo de mão de obra na ordem de 2.500 trabalhadores em 1864, foi preciso se adequar às demandas criadas pelo crescimento da empresa, com a construção de moradias, vias públicas, comércios e serviços (FIGUEIREDO, 2017, p. 33).

²² É como ficaram conhecidas as grandes empresas que firmam parcerias com startups para desenvolver um projeto-piloto.

No ano de 1957 inicia-se a transição da *Saint John Del Rey Mining Company* para a Mineração Morro Velho. De acordo com Figueiredo (2017, p. 43), a companhia foi comprada em 1955 e 1956 pela *Hanna Mining Company*, que, embora não assumindo a mineração de ouro, não abriu mão da maior parte das terras de Nova Lima, passando, a partir de 1957, a explorar o ferro através da MBR (Minerações Brasileiras Reunidas). As operações auríferas passariam, em 1960, para a Mineração de Morro Velho. Esta, por sua vez, foi adquirida pela Anglo American Corporation em 1975, fundando a AngloGold Ashanti, que continua a operar na região.

Hoje, a atividade de lavra de minério de ferro no município tem escala significativa. A MBR, subsidiária da Vale, participa com 14,4% do valor das operações minerais de ferro no estado. Não obstante, a opulência não vem sem conflitos: das 31 barragens da Vale sem declaração de estabilidade em novembro de 2020, 9 se situam em Nova Lima: Barragem B3/B4 da Mina de Mar Azul, Barragem de Capitão do Mato, Dique B e Barragem Peneirinha da Mina de Capitão do Mato, Barragem Vargem Grande e Barragem Maravilhas II do Complexo de Vargem Grande, Barragem 5 da Mina da Mutuca, Sistema de Barragens 5 e Barragem 7a da Mina de Águas Claras (AGÊNCIA BRASIL, 2020). O descomissionamento / descaracterização das barragens construídas a montante e a busca de alternativas à mineração constituem o principal desafio para o município.

Brumadinho, palco da maior tragédia humanitária da história brasileira, é um território cuja constituição também está intrinsecamente relacionada com a atividade mineral. De acordo com descrição de Costa *et al.* (2020, p. 22) sobre a formação do Quadrilátero Ferrífero, as comunidades semiurbanas formadas como pontos de abastecimento da economia mineira durante o ciclo do ouro passaram por ocupação extensiva, na virada do século XX, em decorrência do adensamento da malha da Estrada de Ferro Central do Brasil, de fluxos imigratórios para exploração do manganês e do ferro e do deslocamento do eixo econômico para a nova capital, Belo Horizonte, em 1897. Entre outras importantes estações ferroviárias criadas no primeiro terço do século XX, foi inaugurada, em 1917, a Estação Brumadinho. As transformações sobre o território provocadas por essas novas estações culminaram, entre outros fatores, na criação do município de Brumadinho, em 1938 (COSTA *et al.*, 2020, p. 22). As primeiras operações minerais na cidade se iniciam em 1941, por meio da empresa de capital germânico Ferteco Mineração S.A. (então Companhia Mineração de Ferro e Carvão) e em 1944, com obtenção de concessão de lavra pela Mineração Esperança S.A. A partir daí, a atividade extrativa expandiu-se em Brumadinho.

Entre 1970 e 1990, passam a operar na região várias empresas, dentre as quais Mineração Anselmo Santana e a Mannesmann Mineração Ltda., hoje Vallourec, que operava, desde 1980, a Mina do Pau Branco. No início dos anos 2000, depois de privatizada, a Vale iniciou uma série de aquisições com o objetivo de dominar a produção nacional e ocupar o Quadrilátero Ferrífero. Em negociações com o grupo alemão ThyssenKrupp Stahl, adquiriu, em 2001, 100% do capital da Ferteco Mineração S.A., assumindo o controle de suas duas minas, Fábrica e Feijão.

A barragem da Mina Córrego do Feijão que rompeu em Brumadinho²³ foi construída em 1976 pela Ferteco. Segundo depoimentos colhidos na Comissão Parlamentar de Inquérito estabelecida para investigar o desastre de 2019, existia pouca documentação sobre a barragem, tais como projetos de construção e as primeiras etapas de alteamentos, e havia apenas um relatório escrito em alemão descrevendo a barragem inicial (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019, p. 30). Também de acordo com depoimentos da mesma Comissão, desde 2017, já se sabia que o fator de segurança da barragem estava abaixo de 1,3, valor recomendado internacionalmente e considerado seguro para condições não drenadas. Estudos realizados à época demonstraram valores do fator de segurança da B1 em torno de 1,06 (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019, p. 31). Outro estudo apontava que os rejeitos presentes na estrutura da barragem tenderiam a exibir susceptibilidade a mecanismos de liquefação²⁴ e uma série de diretrizes foram recomendadas para aumentar a segurança (FREITAS, 2019).

Uma característica da Mina Córrego do Feijão que contribuiu para o maior número de vítimas é que o refeitório e a área administrativa, entre outras estruturas, estavam localizados pouco mais de 1 km a jusante da barragem B1. Além disso, as sirenes de segurança, que deveriam ter sido acionadas para alertar funcionários e moradores situados na zona de autossalvamento (ZAS), acabaram não tocando, muitas tendo sido atingidas pela avalanche de lama. A presença desses fatores agravantes motivou a mudança na legislação praticada pela Resolução nº4/2019 da Agência Nacional de Mineração (BRASIL, 2019a).

Assim, Brumadinho que fechou a década de 2010 como Joia da mineração em Minas Gerais, pois, o município combinava mineração com atividades produtivas complexas e sustentáveis, tais como, Turismo Rural, Turismo Cultural e Lazer (sede de Inhotim), entrou na década de

²³ A discussão sobre os acidentes de Mariana e Brumadinho segue na seção 4.1.

²⁴ Processo que ocorre quando o fluxo de água presente no rejeito exerce uma força que anula o peso e a aderência de suas partículas, fazendo com que o material se comporte como líquido (FREITAS, 2019).

2020 com tais atividades paralisadas, com um saldo de 272 mortes confirmadas e um passivo humanitário, ambiental e cultural intangível.

Apesar da diversificação econômica da microrregião, a mesma se limita à sede e aos seus municípios limítrofes (Nova Lima, Contagem e Betim) ao passo que a indústria extrativa mineral do ferro apresenta extremada relevância para Nova Lima e Brumadinho. A contribuição da renda mineral para a geração de riqueza nestes municípios pode ser conferida nas finanças municipais: a cota-parte da CFEM participou com 10,2% e 9,3%, respectivamente, da receita corrente bruta realizada em 2015. Para fins de comparação, a proporção da CFEM sobre a receita corrente das outras cidades mineradoras da microrregião foi inferior a 1%.

Além disso, há outra via pela qual a mineração de minério de ferro pode traduzir-se em receitas fiscais: apesar da Lei Kandir isentar a cobrança do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para a venda de produtos e serviços exportáveis, o valor da operação mineral é incorporado ao Valor Adicionado Fiscal (VAF) municipal, que é base para o repasse da cota-parte do ICMS municipal. Assim, a produção mineral contribui positivamente para o valor de ICMS recebido, como se confirma pelo fato de que a cota parte do ICMS participou com 36,4% e 29,9% da receita corrente bruta realizada de Brumadinho e Nova Lima, ao passo que essa proporção foi inferior a 20% nos outros municípios.

A fim de avaliar os setores em que a microrregião apresenta especialização produtiva, foi empreendido o cálculo do Quociente Locacional (QL), Participação Relativa (PR) e o índice Hirschman-Herfindal Modificado (HHm). A Tabela 8 apresenta os setores do modelo para os quais cada indicador apresentou valor acima de 1 desvio padrão em relação à média calculada para a microrregião.

Tabela 8. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Belo Horizonte

Setor	Desc.	QL	PR	HHm
PetrGasServ	Petróleo, Gás Natural e Serviços de Apoio	1,57	59,6%	21,7%
CombAviac	Combustíveis para Aviação	2,58	97,9%	59,9%
NaftasPetro	Naftas para Petroquímica	1,63	62,0%	24,1%
OleoComb	Óleo Combustível	1,63	62,0%	24,1%
DieselComb	Diesel - Biodiesel	1,63	62,0%	24,1%
OutRefPetro	Outros Produtos do Refino do Petróleo	1,63	62,0%	24,1%
EquTesMed	Equip. de Medida, Teste e Controle, Ópticos e Eletromédicos	1,56	59,3%	21,4%
MarExtMin	Máquinas para a Extração Mineral e a Construção	2,25	85,5%	47,5%
AutoCamUti	Automóveis, Camionetas e Utilitários	2,24	85,1%	47,1%
EletGasOut	Eletricidade, Gás e Outras Utilidades	1,92	72,7%	34,8%
InfraEstr	Obras de Infraestrutura	1,74	66,1%	28,2%
ArSAuxTrans	Armazenamento e Serviços Auxiliares aos Transportes	2,38	90,4%	52,4%
DesSistOut	Desenvolvimento de Sistemas e Outros Serviços de Informação	1,81	68,7%	30,8%
SerArqEng	Serviços de Arquitetura e Engenharia	1,94	73,8%	35,8%
Condomin	Condomínios e Serviços Para Edifícios	1,80	68,4%	30,5%
OutAdmin	Outros Serviços Administrativos	1,50	57,0%	19,1%
ServVigSeg	Serviços de Vigilância, Segurança e Investigação	1,97	74,9%	37,0%

Fonte: cálculo a partir de base de dados utilizada para o procedimento de regionalização do modelo. RAIS / ME, 2015.

Verifica-se que a região apresenta grande especialização nos setores relacionados com a cadeia petroquímica. Isto se deve à presença, na região, da Refinaria São Gabriel Passos, que produz gasolina, diesel, combustível marítimo, querosene de aviação, gás liquefeito de petróleo e asfaltos. A refinaria tem capacidade de produção de 166 mil barris por dia, o que representa cerca de 7% da capacidade total de refino do país, segundo dados de 2019 (BRANDÃO, 2019). Além disso, é a única do estado de Minas Gerais, o que justifica o resultado do indicador.

O setor de Máquinas para a Extração Mineral e a Construção (MarExtMin) apresenta relevância na microrregião de Belo Horizonte. Um exemplo é a Thyssenkrupp, grupo alemão, que desenvolve máquinas e componentes para as indústrias automotiva, siderúrgica, extrativa mineral e construção civil. A empresa possui um Centro de Serviços para venda de maquinário na cidade de Santa Luzia, Grande Belo Horizonte, e planeja construir uma fábrica no Brasil para produzir os equipamentos minerários (RIBEIRO, 2020). O Cadastro Industrial de Minas

Gerais (CIEMG, 2020) destaca outras firmas nesse ramo. A IMIC atua na produção de equipamentos e instalações de beneficiamento que atendem os segmentos de mineração, pedreira, siderurgia, cimenteira e construção civil. A empresa possui complexo industrial de 60 mil m² em Sarzedo. A GNA Corporation Máquinas e Equipamentos Ltda., localizada em São José da Lapa, é uma indústria especializada em britadores e equipamentos para planta de britagem, produzindo linhas com marca própria. Em Santa Luzia, a TBM Indústria e Comércio é líder no segmento de ferramentas de penetração no solo, e fabrica demais implementos como caçambas, lâminas e chapas de desgaste para os mercados de mineração, construção e siderurgia. Outro exemplo é a Simplex Equipamentos Ltda., em Lagoa Santa, que atende os mercados de mineração e siderurgia do Brasil, de outros países latino-americanos, Estados Unidos, além de transações recentes para o continente africano. Em Betim, destaca-se a Soldering Comércio e Indústria Ltda., empresa da internacional ESCO Corporation, atuando no segmento de máquinas para construção e mineração. Em Vespasiano, a Astec do Brasil, do grupo Astec Industries, tem uma fábrica de 59.000 m² de área total equipada para produção de britadores, peneiras vibratórias, conjuntos móveis de britagem e peneiramento sobre pneus, plantas de asfalto e tanques de combustíveis. O Grupo Astec é líder mundial e possui mais de 100 linhas de produtos fornecendo soluções para os mercados de mineração e infraestrutura.

Em relação ao setor de Automóveis, Camionetas e Utilitários (AutoCamUti), vale destacar a fábrica da Fiat, instalada em Betim desde 1976, bem como os fornecedores que estão estabelecidos nas proximidades da unidade. A Fiat emprega diretamente 17.000 pessoas em Betim. No que tange ao setor de Obras de Infraestrutura (InfraEstr), estão sediadas em Belo Horizonte grandes empresas do segmento, como MRV e Direcional Engenharia. Além disso, há uma gama de empresas na microrregião que atuam na construção de ferrovias e rodovias, de obras para geração e distribuição de energia, de redes de abastecimento de água e coleta de esgoto. A Construtora Barbosa Mello S.A., em Belo Horizonte, atua na construção de obras viárias, incluindo ferrovias, de redes de saneamento básico e projetos de fornecimento elétrico, tendo participado da implantação de subestações elétricas e redes de distribuição na Mina do Sossego e no Projeto Ferro Carajás S11D, ambos no estado do Pará. Em Contagem, a Pavotec realiza obras viárias, tendo construído 400 km de ferrovias, enquanto em Belo Horizonte, a empresa Batista Figueiredo Engenharia opera construção de estações e redes de distribuição elétrica.

No que diz respeito ao setor de Serviços de Engenharia e Arquitetura (SerArqEng), o Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG, 2020) evidencia diversas firmas. Dentre elas, se destacam

a Prefisan Engenharia, que atua nas áreas de saneamento, terraplenagem, pavimentação, infraestrutura urbana e edificações; a Diefra Engenharia e Consultoria, que oferece supervisão e gerenciamento de empreendimentos de infraestrutura privados e de administrações públicas nos segmentos de mineração, energia e obras viárias e a Tractebel Engie, empresa internacional que presta consultoria para projetos de infraestrutura urbana e geração elétrica.

A análise de Quociente Locacional também apresentou o setor de Equipamentos de Medida, Teste e Controle (EquTesMed) como sendo fonte de especialização produtiva na microrregião. Em Contagem está uma das maiores fabricantes de medidores elétricos da América Latina, a Nansen Instrumentos de Precisão S.A., com capacidade produtiva de 25 milhões de medidores por ano. Em São José da Lapa, a Contento é fabricante de equipamentos das áreas de solos e asfaltos, além de demais utensílios de medida e controle de qualidade para mineradoras, indústrias cimenteiras, indústrias de artefatos de concreto e fundições (CIEMG, 2020).

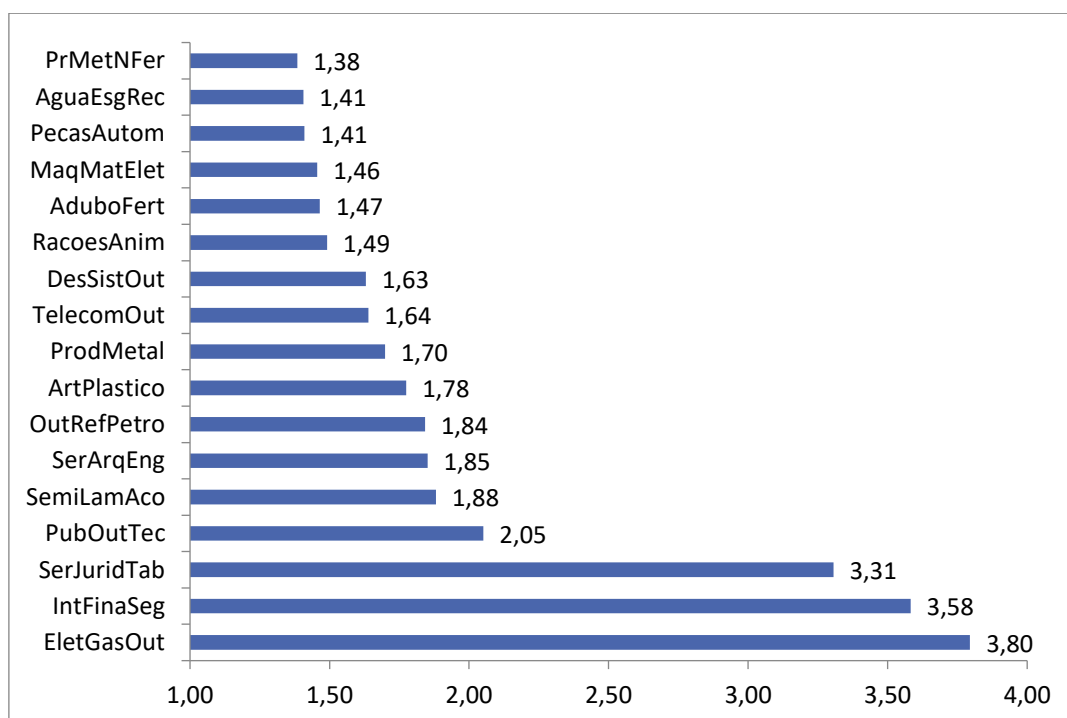
Outras atividades nas quais a microrregião apresentou especialização produtiva dizem respeito à indústria terciária e ressaltam o perfil de centro urbano de Belo Horizonte. É o caso dos segmentos de logística (Armazenamento e Serviços Auxiliares aos Transportes), serviços associados à construção civil (Serviços de Arquitetura e Engenharia), serviços administrativos (Condomínios e Serviços para Edifícios, Outros Serviços Administrativos, Serviços de Vigilância, Segurança e Investigação) e mais recentemente o setor de informática (Desenvolvimento de Sistemas e Outros Serviços de Informação). Este último se beneficia da presença de grandes instituições de ensino, como a Universidade Federal de Minas Gerais, cujo Departamento de Ciências da Computação é destaque no número de pedidos de patente e no estabelecimento de parcerias de sucesso com o setor privado. Vale lembrar que o Google escolheu Belo Horizonte como sede quando chegou ao Brasil em 2005. O primeiro passo da multinacional em território brasileiro foi dado com a aquisição da Akwan, uma startup de Belo Horizonte fundada dentro do Departamento de Ciência da Computação da UFMG e comandada por quatro professores.

O ecossistema de inovação de Belo Horizonte é rico e conta com algumas iniciativas relevantes. O programa Seed foi criado pelo governo de Minas Gerais para promover a criação e investimento em startups na região. 160 startups foram beneficiadas pelo programa, entre os anos 2013 a 2017. A comunidade San Pedro Valley, uma analogia ao Vale do Silício, Estados Unidos, reuniu mais de 200 startups. Algumas das startups mais influentes dessa iniciativa participaram do programa Seed, como Beved, Smarttbot, Tracksale, Risu e outras.

Empresas de base tecnológica e com negócios escaláveis encontram abrigo nos programas de incentivo à inovação realizados na capital, que abriga também aceleradoras, coworkings. Destacam-se empresas como a Buser, Banco Inter, Sympla, Meliuz, Hotmart, Maxmilhas.

A análise dos multiplicadores de produção complementa os indicadores apresentados na Tabela 8 ao elencar outros segmentos associados às cadeias produtivas mencionadas. O Gráfico 8, que apresenta os setores selecionados de acordo com o valor do multiplicador, ressalta a presença de serviços diversos e algumas atividades da indústria de transformação. Dentre os serviços, estariam os setores Intermediação Financeira, Seguros e Previdência Complementar (IntFinaSeg), Apoio Jurídico, Contabilidade e Consultoria (SerJuridTab), Publicidade e Outros Serviços Técnicos (PubOutTec) e Telecomunicações, TV por Assinatura e Outros Serviços Relacionados (TelecomOut). Por outro lado, na indústria de transformação, destacar-se-iam os setores Semiacabados, Laminados e Tubos de Aço (SemiLamAco), Plástico e Outros Produtos do Refino do Petróleo (OutRefPetro e ArtPlastico), Produtos de Metal com Exceção de Máquinas e Equipamentos (ProdMetal), Rações (RacoesAnim), Adubos (Adubofert), Máquinas e Aparelhos Elétricos (MaqMatElet), Peças para Veículos (PecasAutom) e Produtos da Metalurgia de Metais Não-ferrosos (PrMetNFer).

Gráfico 8. Setores com maior multiplicador de produção (%), Belo Horizonte



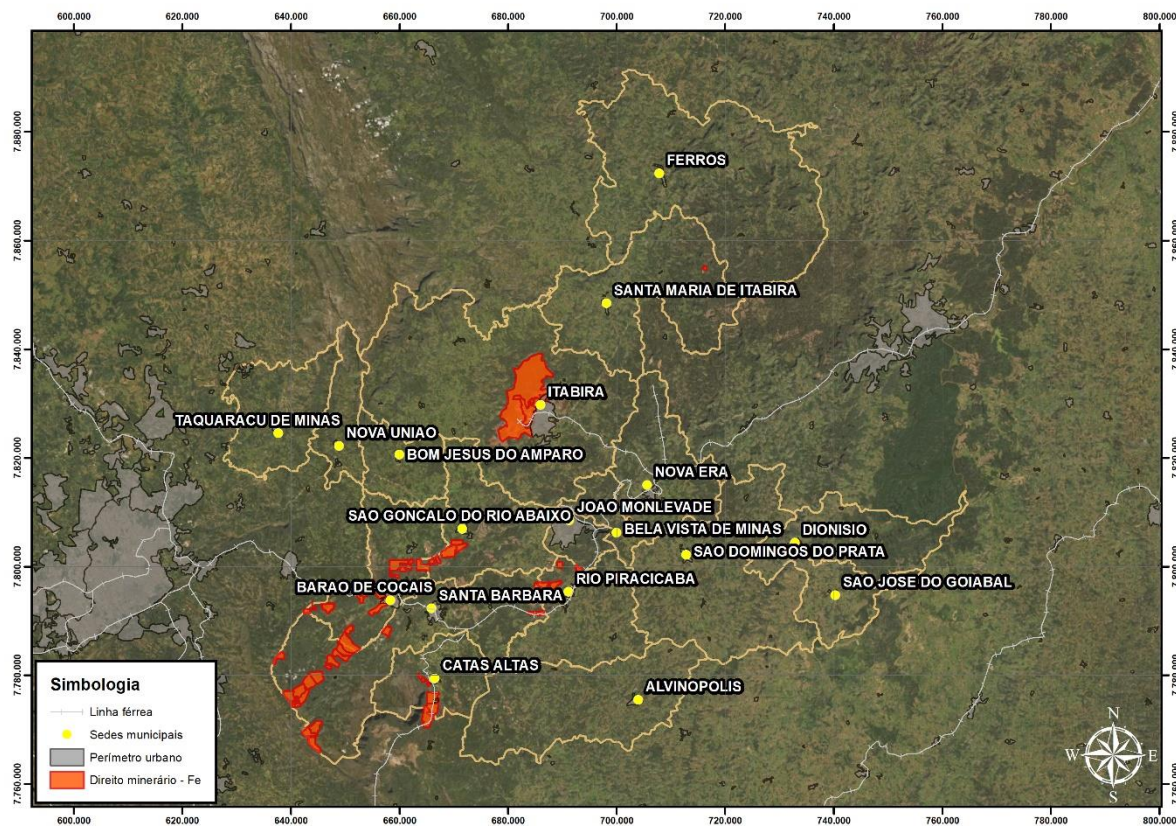
Fonte: elaboração própria a partir de dados do modelo.

O impulsionamento da economia que derivaria de serviços (e, em sua maioria, serviços de alta complexidade) reforça o papel metropolitano de Belo Horizonte. De fato, de acordo com a base de dados construída para o modelo, o setor de serviços, exclusive construção, compreende 52,9% do valor produzido em Belo Horizonte, participação maior do que a parcela média das outras microrregiões, que é 43,9%. Na indústria da transformação, destacar-se-iam subsetores da transformação mineral, como adubos e produtos da metalurgia de minerais não-ferrosos, e representantes da cadeia mínero-metalúrgica, como Semiacabados e Laminados de Aço, Produtos de Metal, Máquinas e Equipamentos Eletrônicos e Peças para Veículos.

4.3. Itabira

Dentre as microrregiões selecionadas, a micro de Itabira apresentava o segundo maior PIB, R\$ 11,4 bilhões, e também foi a segunda mais populosa, com 400 mil habitantes, dados de 2015. A microrregião de Itabira, juntamente com os polígonos minerários, pode ser conferida na Figura 15. De acordo com a base de dados construída para o modelo, o setor do Minério de Ferro corresponde a 38,7% da produção regional. Em seguida, destacam-se Serviços (14,4%), Construção Civil (9,8%), Comércio (6,5%) e Indústria (6,4%). Também participando com 6,4% da produção regional está Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço, setor a jusante da cadeia mínero-metalúrgica (Anexo 04).

Figura 15. Microrregião de Itabira e polígonos minerais de ferro



Fonte: elaboração própria.

Dentre os municípios mineradores da microrregião, destacam-se a sede da micro, Itabira, que produziu 64 Mt de minério de ferro em 2015, São Gonçalo do Rio Abaixo, com 47 Mt, e Catas Altas, com produção de 11 Mt. Também apresentam mineração de minério de ferro os municípios de Rio Piracicaba (que registrou produção de 6,6 Mt em 2015), Santa Bárbara (4 Mt), Barão de Cocais (3,7 Mt) e Bela Vista de Minas (1,4 Mt). Segue-se uma breve caracterização histórica dos principais municípios mineradores da microrregião.

A história do município de Itabira se confunde com a história da indústria extrativa mineral em Minas Gerais. A ocupação da região começou em decorrência de várias incursões feitas por bandeirantes em busca de ouro e pedras preciosas. Os bandeirantes paulistas, irmãos Francisco e Salvador Faria de Albernaz, vindos de uma expedição que saiu da região de Itambé no ano de 1720, são oficialmente reconhecidos como os primeiros a chegar à região onde hoje se localiza a cidade de Itabira. A partir daí, houve um grande fluxo migratório motivado pela descoberta do ouro que, entretanto, mostrou-se insuficiente para garantir um desenvolvimento duradouro: a extração de ouro nos rios tornou-se cada vez mais difícil devido à sua escassez, e os terrenos

eram ricos em minério de ferro, mas este era proibido pela Coroa Portuguesa de ser explorado e beneficiado (IBGE, 1959).

Com a elevação do Brasil à categoria de Vice-Reino, foi liberada a exploração do minério de ferro. Em pouco tempo, várias forjas já estavam em funcionamento em Itabira; no ano de 1817, eram em número de treze. Surgiam em Itabira pequenas fábricas que produziam instrumentos para a mineração, para os trabalhos na lavoura, utensílios domésticos e espingardas. No final do século XIX, coexistia com a mineração a atividade têxtil: entre as décadas de 1870 e 1880, a cidade possuía duas das vinte fábricas de tecidos de Minas Gerais. A indústria de tecidos, até as primeiras décadas do século XX, era a principal atividade econômica da cidade (FRANÇA, 1988).

Esse quadro mudaria com o início da exploração do Quadrilátero Ferrífero. Em 1907, o Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil tornou conhecido um mapa sobre a distribuição das jazidas de ferro e manganês no Quadrilátero Ferrífero, que revelou a existência de reservas de ferro de grande qualidade em Itabira. Em 1910, no XI Congresso Geológico Internacional de Estocolmo, foi revelado o alto teor ferrífero das jazidas de minério de Minas Gerais, e a partir daí a cidade passou a ser alvo de visitas frequentes de investidores estrangeiros interessados na exploração do minério (VALE, 2012).

As primeiras tentativas para se explorar em larga escala o minério de ferro da região datam de 1908, por intermédio da iniciativa de um grupo inglês denominado *Brazilian Hematite Syndicate*. O grupo pretendia aproveitar a recém-construída Estrada de Ferro Vitória-Minas para transportar o minério até o porto de Vitória, fazendo passar por Itabira a estrada de ferro em questão. Em 1911, o grupo associou-se a banqueiros ingleses, transformando-se na *Itabira Iron Ore Company*, controlada pelo empresário americano Percival Farquhar. O objetivo era implantar um complexo siderúrgico com sistema integrado mina-ferrovia-porto, mas os planos foram suspensos e apenas em junho de 1940, a Itabira Iron fez o primeiro embarque de minério (VALE, 2012).

Com o advento da ditadura Vargasista, que empunhava as bandeiras da industrialização e da nacionalização dos recursos minerais, a política concernente à exploração mineral sofreria uma transformação profunda. A Constituição de 1937 proibiu explicitamente qualquer novo aproveitamento industrial das minas e das jazidas minerais por companhias estrangeiras (VALE, 2012). Pelo Decreto Lei n. 4.352, de 1º de junho de 1942, foi criada, no mesmo ano, a Companhia Vale do Rio Doce, que encampou a *Itabira Iron Ore Company*. Pelos estatutos da

CRVD, ficou definido que a sede administrativa seria em Itabira, de modo que esta foi o primeiro centro industrial, no Brasil, de extração mineral em grande escala para exportação.

Os trabalhos de lavra da Vale na região se iniciaram em 1957. O complexo de mineração em Itabira é formado por sete minas, as duas maiores Conceição e Cauê, e as Minas do Meio, composta pela mina Periquito, Dois Córregos, Onça, Camarinha e Chacrinha. A maioria destas já estão exauridas, porém, restando ativa a mina de Conceição. De acordo com Relatório da Vale (2020a, p. 81), o complexo de Itabira tem reservas para até 2029. Dessa forma, a discussão a médio prazo para a região seria como aproveitar os investimentos para fechamento das minas de forma a mitigar impactos sobre o bem-estar e qualidade de vida. Dentre as ações, estão a descaracterização de estruturas, recuperação de áreas degradadas, compensação ambiental e medidas compensatórias frente aos impactos socioeconômicos adversos frente a paralisação da mineração de minério de ferro.

O território de Barão de Cocais se consolidou a partir da descoberta de ouro por bandeiras paulistas que desbravaram a região. Em 1745, foi encontrado recursos auríferos em um curso d'água que corta a região; anos mais tarde, o local foi herdado por João Baptista Ferreira de Souza Coutinho, o barão de Catas Altas, que vendeu em 1825, a então Mina Gongo Soco à companhia inglesa *Imperial Brazilian Mining Association*. Esta foi a primeira empresa de capital estrangeiro a se instalar na província de Minas Gerais, atuando entre 1826 e 1856. Durante este período, a mina produziu mais de 12 mil quilos de ouro, mas a partir de 1856 o maquinário não foi suficiente para atingir os veios mais profundos da mina e a mesma entra em decadência, com a extinção da *Imperial Brazilian Mining Association* (IEPHA, 2014, p. 56).

Pouco se sabe da atividade minerária em Gongo Soco após este período até o ano de 1960, quando a empresa São Carlos Minérios, de capital americano, estudou a formação ferrífera e, em 1967, avaliou as reservas de minério de ferro. Os direitos minerários da São Carlos Minérios foram arrendados em 1986 pela Mineração Socoimex Ltda que iniciou, em 1989, a operação de lavra da mina de Gongo Soco, com a instalação de britagem e peneiramento do minério de ferro (NETO, 2008, p. 65). No ano 2000, a Vale adquire o controle da Socoimex e da mina de Gongo Soco, extraindo ferro da mesma até 2016, quando encerra as atividades no complexo.

A constituição dos municípios de Catas Altas, Santa Bárbara e São Gonçalo do Rio Abaixo está associada à exploração da Serra do Caraça por bandeirantes que encontraram, nos anos iniciais do século XVIII, ricas minas auríferas às margens do Ribeirão Santa Bárbara. A abundância do ouro atraiu povoadores, tornando a região um pequeno arraial, mas a partir da segunda metade

do século, a crescente exploração do ouro de aluvião levou ao esgotamento das reservas. A mineração entrou em decadência a partir daí, tendo a agricultura e a pecuária maior importância para a economia local. A região permanece em relativo abandono até que, em 1861, foi organizada a britânica *Santa Bárbara Mining Company*, com o objetivo de promover a volta da exploração de minas e jazidas. A empreitada, porém, não obteve sucesso (IBGE, 1959).

A partir de 1950, municípios próximos de Santa Bárbara receberam projetos siderúrgicos que ativaram a produção de minério de ferro. As primeiras concessões de lavra obtidas nesses municípios datam de 1960, com Cia de Mineração Rio Acima, e 1962, com a MVM Mineração e Comércio Ltda. Catas Altas abriga a mina de Fazendão, que é constituído pelas jazidas de Almas, Tamanduá, ambas inativas desde 1991, e São Luís.

Em São Gonçalo do Rio Abaixo, município desmembrado de Santa Bárbara em 1962, iniciaram-se os trabalhos de pesquisa mineral com a Mineração Santa Mônica Ltda., que obteve decreto de lavra em 1972. Os direitos de lavra da Mina de Brucutu foram, em 1992, adquiridos pela Vale. Em 2004, com novos estudos de pesquisa de reserva, foi criado um projeto para a expansão da mina e para a implantação da instalação de beneficiamento, com a expectativa de tornar Brucutu uma instalação de beneficiamento com tamanho e capacidade de produção de minério de ferro entre as maiores do mundo (ROBERTO, 2010, p. 6-7).

À época da inauguração, Brucutu foi considerado o maior complexo em capacidade inicial de produção implantado no mundo. A produção inicial foi de 7,75 mtpa, e já no ano seguinte atingiu 21,9 milhões de toneladas/ano de minério. O empreendimento recebeu investimentos iniciais de US\$ 1,1 bilhão e chegou a contar com 6 mil trabalhadores. A capacidade produtiva da unidade gira em torno de 30 milhões de toneladas. A unidade continua sendo a maior mina de ferro de Minas Gerais em produção e a segunda maior do país, atrás apenas de Carajás, no Pará (VALE, 2016).

Além disso, a mina é conhecida pela adoção de novas tecnologias. No ano de 2019, a mina de Brucutu começou a operar exclusivamente com caminhões autônomos; hoje, a frota soma 13 veículos, com capacidade de 240 toneladas cada, além de contar com 2 perfuratrizes automáticas. Apesar do pioneirismo tecnológico na mina de Brucutu, é possível que a economia de São Gonçalo do Rio Abaixo não receba os benefícios em termos de desenvolvimento regional e modernização da estrutura produtiva advindos da interação econômica com o complexo minerário. De acordo com Navarreti & Venables (2004), a criação de externalidades na economia local em virtude de um grande projeto de investimento depende do tamanho do

hiato tecnológico entre as firmas locais e a grande empresa, além da extensão dos encadeamentos entre a firma tecnologicamente superior e as locais. Assim, territórios com baixo desenvolvimento tecnológico não possuiriam a capacidade necessária para interiorizar os *spillovers*. Da mesma forma, Iglesias (2010) ressalta que grandes projetos de investimento relacionados a produtos primários homogêneos, de maneira geral caracterizados por baixo grau de processamento e intensivo em recursos naturais, demandam menos insumos, o que limita as possibilidades de geração de encadeamentos para trás.

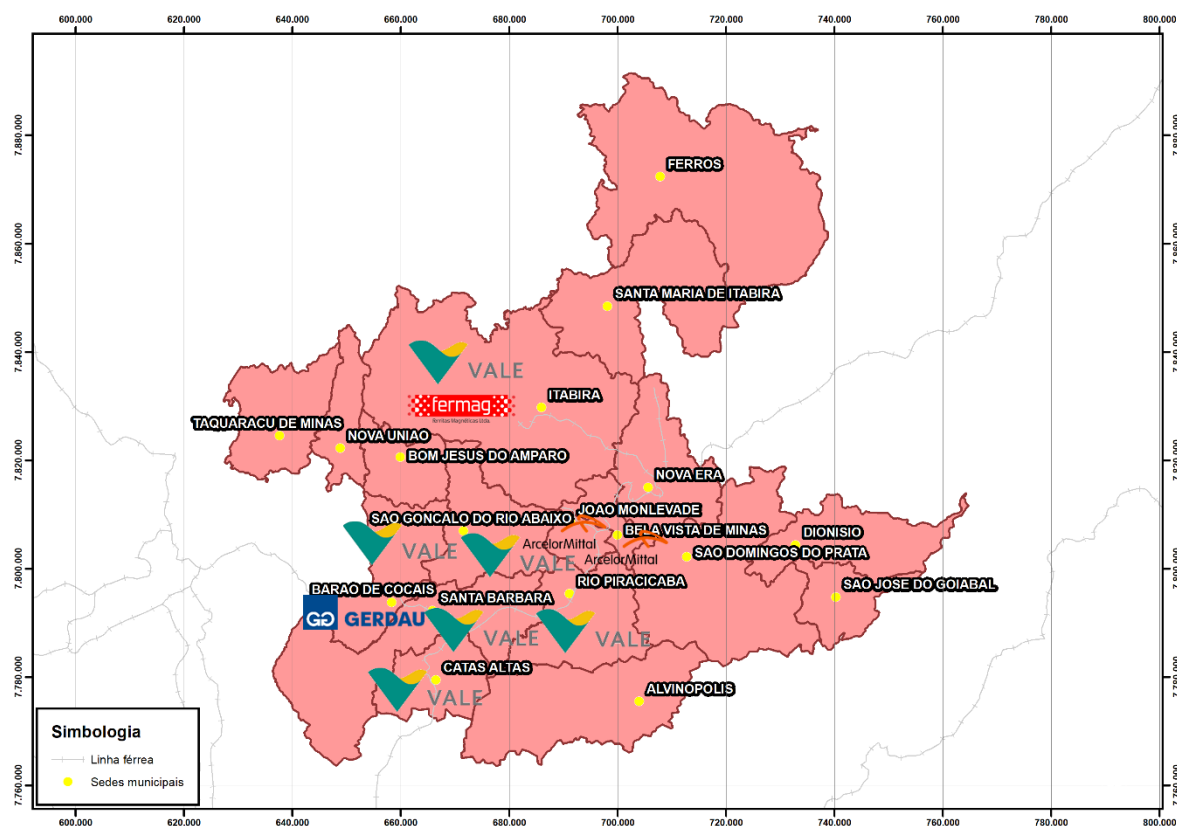
A Tabela 12 evidencia as empresas que operam na microrregião, segundo dados de arrecadação da CFEM de 2015. Verifica-se forte presença da Vale, em especial em Itabira e São Gonçalo do Rio Abaixo. A Figura 16 mostra a distribuição das principais empresas da cadeia mineral na microrregião.

Tabela 9. Empresas com operação na microrregião de Itabira

Município	Empresa	Participação operação mineral do estado
Barão de Cocais	Vale S.A.	1,3%
Bela Vista de Minas	ArcelorMittal Brasil S.A. *	0,3%
Catas Altas	Vale S.A.	1,7%
Catas Altas	Pedreira Um Valemix Micon Mineração Congonhas Ltda.	0,1%
Itabira	Vale S.A.	10,7%
Itabira	Titanio Goiás Mineração Ind. e Com. Ltda	0,0%
Rio Piracicaba	Baovale Mineração Sa. (Join-venture entre Vale S.A. e a Baosteel Shanghai Group Corporation)	1,0%
Rio Piracicaba	Cimeca Comércio e Indústria de Minérios e Metais Caxambu Ltda.	0,0%
Rio Piracicaba	Empresa de Mineração Horii Ltda.	0,0%
Santa Bárbara	Baovale Mineração Sa. (Join-venture entre Vale S.A. e a Baosteel Shanghai Group Corporation)	0,7%
São Gonçalo do Rio Abaixo	Vale S.A.	8,5%

Fonte: Sistema Arrecadação CFEM (ANM, 2020b). * Empresa siderúrgica.

Figura 16. Principais empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Itabira



Fonte: elaboração própria. Itabira: Vale, Fermag. Barão de Cocais: Vale, Gerdau Açominas. Bela Vista de Minas: ArcelorMittal. João Monlevade: ArcelorMittal. São Gonçalo do Rio Abaixo, Catas Altas: Vale. Rio Piracicaba, Santa Bárbara: Baovale Mineração (Vale).

No que diz respeito à absorção da renda mineral por intermédio da arrecadação municipal, 19,5% da receita corrente bruta realizada de Catas Altas originou-se, em 2015, da cota-parte da CFEM, enquanto essa proporção foi de 15,1% no caso de São Gonçalo do Rio Abaixo, 8,8% em Rio Piracicaba e 8,2% em Itabira. A influência do valor da operação mineral na cota-parte do ICMS pode ser verificada em São Gonçalo do Rio Abaixo e Catas Altas, onde o ICMS respondeu por 59,6% e 38%, respectivamente, da receita corrente bruta realizada em 2015.

A Tabela 10 mostra o Quociente Locacional (QL), a Participação Relativa (PR) e o índice Hirschman-Herfindal Modificado (HHm) para setorial em que os indicadores apresentaram valores superiores a 1 desvio padrão da média setorial.

Tabela 10. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Itabira

Itabira	Descrição	QL	PR	HHm
MinerFerro	Minério de Ferro	13,78	23,5%	21,8%
MinMetNFer	Minerais Metálicos Não-ferrosos	8,06	13,7%	12,0%
FioFibraTex	Fios e Fibras Têxteis Beneficiadas	3,26	5,6%	3,9%
PrQuiIno	Produtos Químicos Inorgânicos	6,44	11,0%	9,3%
PerfSabLimp	Perfumaria, Sabões e Artigos de Limpeza	2,73	4,7%	3,0%
SemiLamAco	Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço	2,91	5,0%	3,3%
AguaEsgRec	Água, Esgoto, Reciclagem e Gestão de Resíduos	2,48	4,2%	2,5%
ServContr	Serviços Especializados para Construção	3,58	6,1%	4,4%

Fonte: cálculo a partir de base de dados utilizada para o procedimento de regionalização do modelo. RAIS / ME, 2015.

Cerca de 23,5% da mão de obra mineira do setor de minério de ferro era empregada na microrregião de Itabira, como mostra a Tabela 10. A região também apresenta vocação na extração de minerais metálicos não ferrosos: a Anglogold Ashanti extrai ouro em Santa Bárbara, enquanto a Novelis do Brasil Ltda. empreende atividade de lavra de alumínio no mesmo município. Além disso, o Quociente Locacional do segmento Semi-acabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço (SemiLamAco) indica especialização produtiva em atividades a jusante da cadeia mínero-metalúrgica. De acordo com Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG, 2020), Barão de Cocais conta com unidade da Gerdau Aços Longos S.A., empregando cerca de 530 funcionários, e João Monlevade tem uma unidade de processo integrado da ArcelorMittal, com 900 trabalhadores²⁵. Ambos produzem laminados longos de aço. Outro setor que se destaca na Tabela 10 é o de Produtos Químicos Inorgânicos, como é o caso da FER MAG Ferritas magnéticas, que tem fábrica na cidade de Itabira, onde produz mantas magnéticas, óxidos de ferro e ferrita (CIEMG, 2020). Trata-se, assim, de uma atividade a jusante da cadeia mínero-metalúrgica. Em relação ao setor de Serviços Especializados para Construção (ServContr), o Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG, 2020) aponta para a empresa Degraus Engenharia e Empreendimentos Imobiliários Ltda., em João Monlevade. Além de prestar serviços para construção civil e infraestrutura urbana, a firma indica na página online²⁶ ter realizado diversas obras industriais para a Vale (algumas na Mina de Brucutu), para

²⁵ Estimado a partir de dados da RAIS, 2015.

²⁶ Informações do site oficial: <http://degraus.eng.br/servicos/>. Acessado em: 15 jan. 2021.

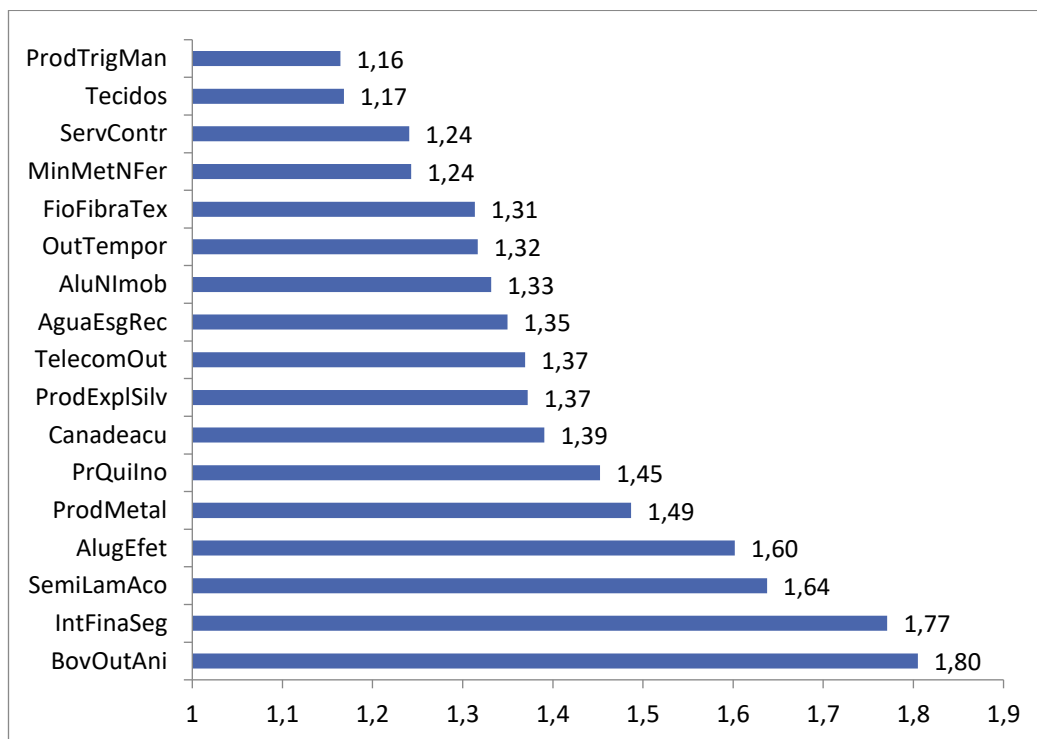
a ArcelorMittal (tanto na Usina siderúrgica de João Monlevade quanto na Mina de Andrade) e para a Gerdau Açominas, o que poderia indicar que as atividades que foram rotuladas como serviços para construção estariam no escopo da cadeia mineral.

O setor de Fios e Fibras Têxteis Beneficiadas (FioFibraTex) aparece com Quociente Locacional relevante em decorrência da presença da Fabril Mascarenhas, companhia têxtil estabelecida em Alvinópolis. A empresa foi fundada em 1887, e emprega cerca de 400 funcionários²⁷, tendo como principal produto a chita. Cabe ressaltar também a herança na tecelagem artesanal que habita nessa microrregião, especialmente no município de Santa Barbara. No que se refere ao setor de Perfumaria, Sabão e Artigos de Limpeza, em Alvinópolis, está localizada a Bio Extratus, que produz artigos de higiene e cosméticos, exportando para Portugal e Estados Unidos. A análise de Quociente Locacional também evidencia o setor de Água, Esgoto, Reciclagem e Gestão de Resíduos (AguaEsgRec), que engloba a recuperação de materiais metálicos. Neste segmento, a Harsco Metals tem uma unidade em João Monlevade, operando junto com a usina da Arcelormittal.

Procedendo-se à análise dos multiplicadores de produção, o Gráfico 9 evidencia os setores com maior valor associado. Em adendo a Fios e Fibras Têxteis Beneficiadas, já mencionado, o setor Tecidos (Tecidos) se destaca, reforçando a importância da cadeia têxtil na região. Cabe salientar que esses setores são dotados de alta complexidade (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021)²⁸. Ressalta-se adicionalmente a presença do segmento Produtos de Metal Exclusive Máquinas e Equipamentos (ProdMetal), em linha com a evidência de vantagens comparativas da região na siderurgia.

²⁷ De acordo com o Cadastro Industrial de Minas Gerais da CIEMG (2020), Alvinópolis conta com uma única empresa no setor de Tecelagem de fios de algodão, enquanto informações da RAIS de 2015 indicam que o município tinha 456 indivíduos empregados formalmente no segmento.

²⁸ Agradecemos a João Prates Romero, Elton Freitas e ao grupo de pesquisa em Complexidade Econômica do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da UFMG por traduziram a classificação utilizada no Atlas de Complexidade Econômica para a CNAE 2.0. Segundo os autores, a tabela será publicada em artigo no prelo.

Gráfico 9. Setores com maior multiplicador de produção (%), Itabira

Fonte: elaboração própria a partir de dados do modelo.

O gráfico também mostra algumas atividades agrícolas que apresentariam maior multiplicador, como Bovinos e Outros Animais Vivos (BovOutAni), Cana-de-açúcar (Canadeacu), Produtos da Exploração Florestal e da Silvicultura (ProdExplSilv), Outros Produtos e Serviços da Lavoura Temporária (OutTempo) e Produtos Derivados do Trigo, Mandioca ou Milho (ProdTrigMan). As mesmas são compostas por baixo valor agregado e baixa complexidade. Porém, poderiam fomentar a geração de emprego local, ocasionando geração de renda.

Além disso, evidencia a importância econômica de serviços como Intermediação Financeira, Seguros e Previdência Complementar (IntFinaSeg), Telecomunicações, TV por Assinatura e Outros Serviços Relacionados (TeleComOut), Aluguel Efetivo e Serviços Imobiliários e Aluguéis Não-imobiliário e Gestão de Ativos de Propriedade Intelectual (AlugEfet e AluNImob) e Serviços Especializados para Construção (ServContr). De acordo com o Atlas de Complexidade Econômica (2021), tais setores possuem elevada complexidade, de maneira geral, porém suas dinâmicas produtivas poderiam estar atreladas ao funcionamento da cadeia mineiro-metalúrgica.

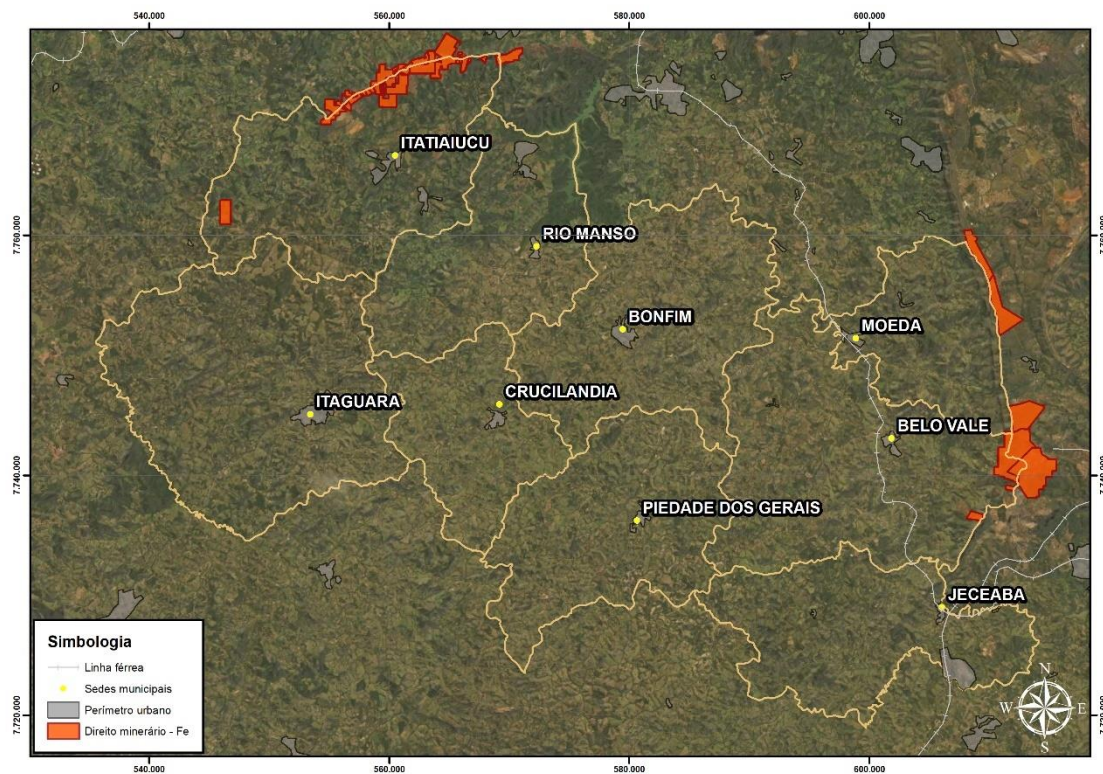
A dependência de algumas cidades da região de Itabira em relação à atividade mineradora fica patente, seja pela análise das receitas fiscais, seja pelos indicadores de especialização. O fato

de uma única empresa dominar a exploração mineral torna a dependência ainda mais vulnerável. Além disso, levando em conta que as reservas de ferro da micro vão se esgotar até 2030, com exceção de São Gonçalo do Rio Abaixo, a urgência de um programa de reconversão produtiva fica explícita (VALE, 2020a, p. 81).

4.4. Itaguara

Dentre as microrregiões selecionadas, Itaguara apresentava menor população residente e segundo menor PIB. A micro engloba apenas dois municípios com operação de minério de ferro, Belo Vale e Itatiaiuçu, sendo que este apresenta Produto Interno Bruto *per capita* de R\$ 68,7 mil. Os municípios pertencentes à microrregião, bem como os polígonos minerários de ferro, podem ser conferidos na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 17. Microrregião de Itaguara e polígonos minerários de ferro



Fonte: elaboração própria.

De acordo com a base de dados construída para o modelo, ano base 2015, o setor de Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço contribui com 41,9% da produção da região, enquanto o setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro com 29%, o setor

Indústria, 9% (Anexo 04). Verifica-se a importância da cadeia minero-metalúrgica para Itaguara, em especial as etapas a jusante da cadeia, como siderurgia.

Segundo informações da Agência Nacional de Mineração (2020a), Itatiaiuçu produziu 11,8 Mt de minério de ferro em 2015, enquanto Belo Vale produziu 5,6 Mt.

Belo Vale é um município fundado por bandeirantes durante o período do Ciclo do Ouro. Por muitas décadas, o garimpo de minerais foi a principal fonte econômica do local, entretanto, por conta do esgotamento dos minérios causado pela intensa exploração das minas, essa atividade foi substituída pela agricultura e pecuária (IBGE, 1959). Em 1961, foi inaugurada a Estrada de Ferro Central do Brasil, que dinamizou a extração do minério de ferro no município, que passou a fazer parte dos locais de atuação da Vale. As primeiras concessões de lavra no município datam de 1956 e 1979, obtida pela Ferteco Mineração S A. (adquirida pela Vale), e de 1974, tendo como titular Mineração Argentina e Filhos Extração e Comércio Ltda. Em 1996, a Sociedade Brasileira de Mineração Ltda. adquiriu título de lavra na região, depois passando para a filial mineradora da Companhia Siderúrgica Nacional. Hoje, destaca-se em Belo Vale a presença de mineradoras pequenas, que vendem a produção para CSN e Vale. Além disso, a Vale opera a barragem Marés I, na qual a empresa recebe rejeitos de minas vizinhas.

As origens de Itatiaiuçu remontam a guerra dos Emboabas²⁹: bandeirantes paulistas vencidos no conflito embrenharam-se pelos sertões do oeste da província em busca do ouro da serra do Itatiaiuçu, no séc. XVII. Portanto, a diáspora que o conflito promoveu fez com que a região atual do município de Itatiaiuçu se tornasse alvo das bandeiras. A mineração do ferro na região se inicia na década de 1940, com atividades de lavra na Serra Azul. A Empresa de Mineração e Terraplanagem (Emicon) começou a lavar e beneficiar minério de ferro em Serra Azul, no local conhecido como Fazenda dos Quéias, em 1975 (VIEIRA, 2010).

As empresas que hoje exploram o minério de ferro em Itatiaiuçu e Belo Vale podem ser conferidas na Tabela 11, que utiliza dados de arrecadação da CFEM de 2015. Observa-se que Itatiaiuçu concentra 2,7% do valor da operação mineral do estado, com atuação da Mineração Usiminas e ArcelorMittal, enquanto Belo Vale contabiliza 1,4%, com lavra da CSN Mineração. A Figura 18 traz as principais empresas da cadeia mineral do ferro em Itaguara.

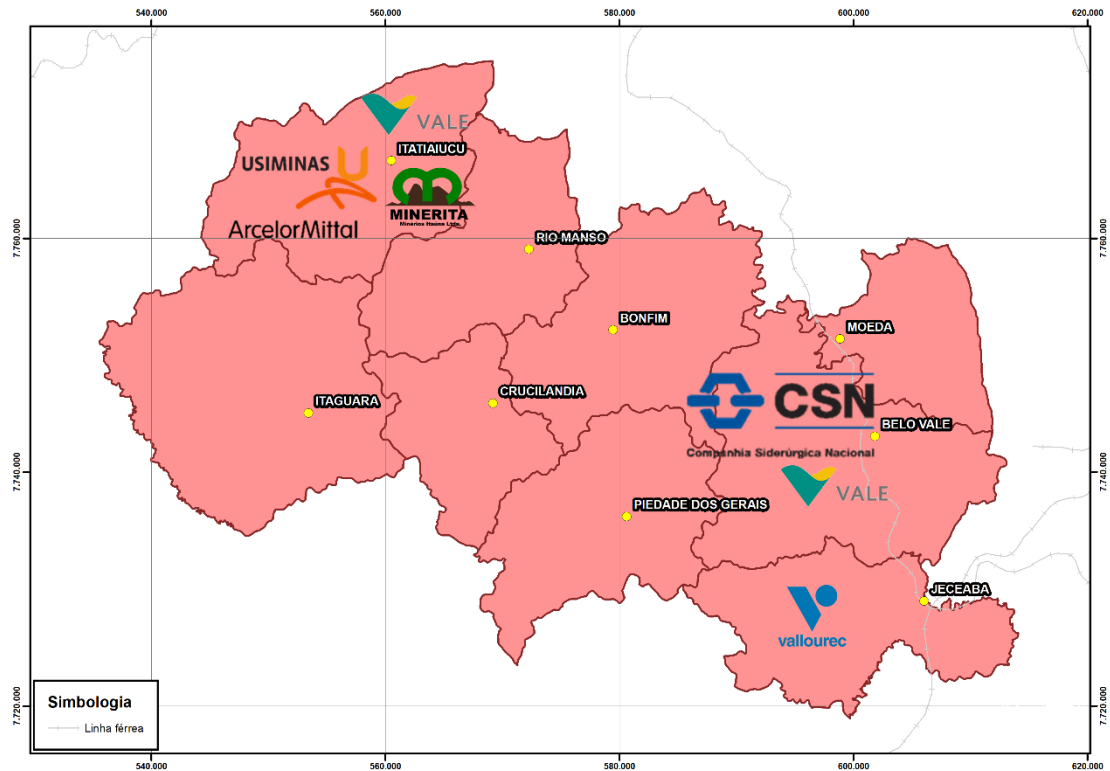
²⁹ A Guerra dos Emboabas foi um confronto travado de 1707 a 1709 pelo direito de exploração das recém-descobertas jazidas de ouro na região do atual estado de Minas Gerais.

Tabela 11. Empresas com operação na microrregião de Itaguara

Município	Empresa	Participação operação mineral do estado
Belo Vale	Companhia Siderúrgica Nacional Mineração S.A. *	1,4%
Belo Vale	Vale S.A.	0,1%
Belo Vale	Minerinvest Mineração Ltda.	0,0%
Belo Vale	Mineração Argentina e Filhos Extração e Comércio Ltda.	0,0%
Itatiaiuçu	Mineração Usiminas S.A. *	2,1%
Itatiaiuçu	Arcelormittal Mineração Serra Azul S.A. *	0,4%
Itatiaiuçu	Minerita Minérios Itaúna Ltda.	0,1%
Itatiaiuçu	Ferrous Resources do Brasil S.A. (subsidiária da Vale)	0,0%
Itatiaiuçu	Cofersul Mineração Ltda.	0,0%
Itatiaiuçu	MBL Materiais Básicos Ltda.	0,0%

Fonte: Sistema Arrecadação CFEM (ANM, 2020b). * Empresa siderúrgica.

Figura 18. Principais empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Itaguara



Fonte: elaboração própria. Belo Vale: Companhia Siderúrgica Nacional, Vale. Itatiaiuçu: Mineração Usiminas, Arcelormittal Mineração, Minerita, Ferrous Resources do Brasil (Vale). Jeceaba: Vallourec Soluções Tubulares.

É patente a importância das etapas a jusante da cadeia mineral em Itaguara, uma vez que as principais mineradoras são empresas do ramo da siderurgia que extraem minério para garantia de insumos e fortalecer caixa. Para além das receitas de arrecadação geradas na fase de transformação mineral, a própria extração é fonte de recursos para os municípios de Itaguara: a cota-parte da CFEM participou com 13,6% e 9% da receita corrente bruta realizada de Belo Vale e Itatiaiuçu, respectivamente, em 2015.

A fim de verificar a configuração setorial na microrregião de Itaguara, a Tabela 12 mostra valores do Quociente Locacional (QL), da Participação Relativa (PR) e do índice Hirschman-Herfindal Modificado (HHm) para setores cujos indicadores apresentaram valor superior a 1 desvio padrão em relação à média.

Tabela 12. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Itaguara

Itaguara	Descrição	QL	PR	HHm
MinerFerro	Minério de Ferro	19,26	4,5%	4,3%
SemiLamAco	Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço	31,47	7,3%	7,1%
MarExtMin	Máquinas para a Extração Mineral e a Construção	13,62	3,2%	2,9%
Moveis	Móveis	4,70	1,1%	0,9%
AguaEsgRec	Água, Esgoto, Reciclagem e Gestão de Resíduos	5,73	1,3%	1,1%

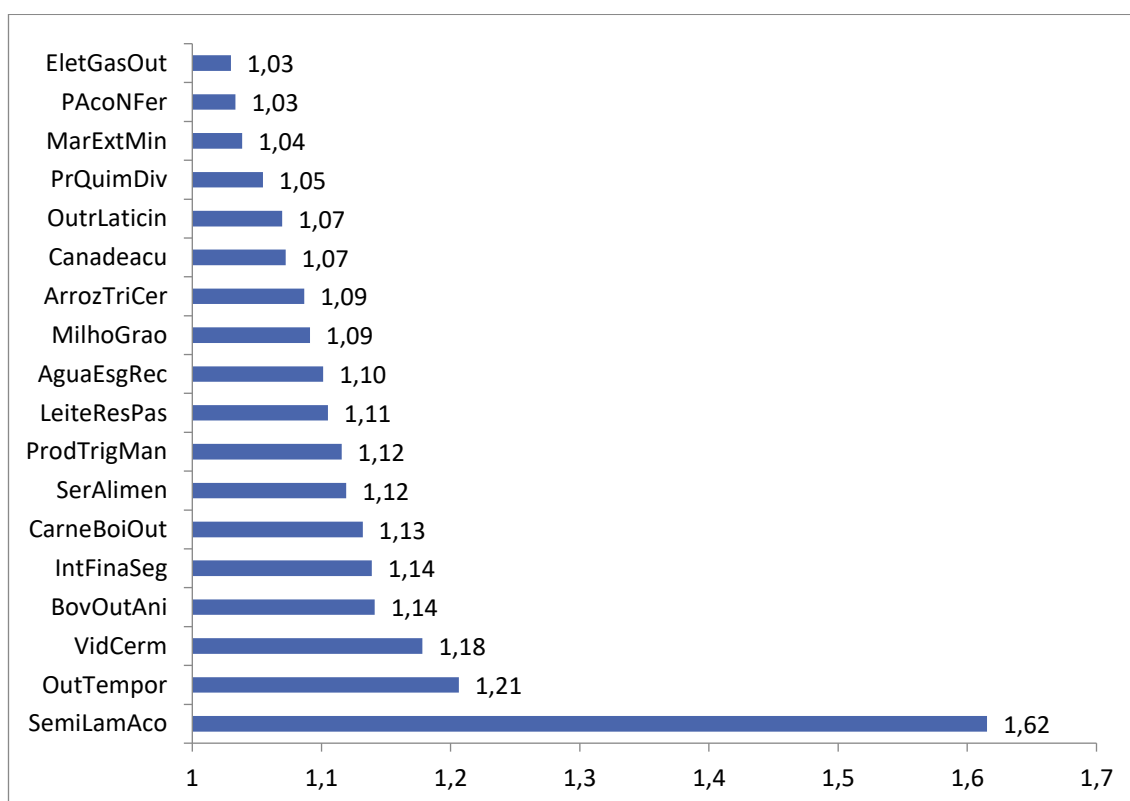
Fonte: cálculo a partir de base de dados utilizada para o procedimento de regionalização do modelo. RAIS / ME, 2015.

A Tabela 12 evidencia que, além do setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro (MinferFerro), a microrregião de Itaguara apresenta acentuada especialização produtiva no segmento siderúrgico, representado pelos setores Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço (SemiLamAco). Neste setor, a região tem participação relativa no emprego estadual de 7,3%. De fato, o município de Jeceaba hospeda uma usina da Vallourec Soluções Tubulares do Brasil, que é focada na produção de tubos de aço sem costura para o setor de petróleo e gás e laminados planos de aço. Embora o setor Máquinas para a Extração Mineral e a Construção (MarExtMin) apresente quociente locacional superior à unidade, não há informações de empresas atuando no ramo em municípios da microrregião, segundo o Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG, 2020). A Tabela 12 ainda indica que o setor Móveis (Moveis) apresenta relevância econômica na microrregião, sendo que o município de Itaguara é sede de várias empresas de pequeno e médio porte atuando no segmento, que emprega cerca de 300 trabalhadores na cidade, de acordo com dados da RAIS, 2015. Por fim, no que se refere ao setor Água, Esgoto, Reciclagem e Gestão de Resíduos (AguaEsgRec), a Ambiental Jeceaba presta serviços de operação e manutenção nas áreas de captação e tratamento de água, recirculação e tratamento de efluentes, além da gestão dos resíduos gerados na Usina da Vallourec Soluções Tubulares do Brasil. A empresa, que era subsidiária do ramo de tratamento de efluentes industriais da BRK Ambiental, foi vendida em 2019 para o grupo sul-coreano GS Inima, que controla 8 operações de serviços de saneamento básico no Brasil³⁰.

³⁰ Informações do site oficial da GS Inima Brasil: <http://www.gsinimabrasil.com.br/en/noticias/noticias/gs-inima-brasil-compra-operacoes-industriais-da-brk-ambiental/>. Acessado em: 15 jan. 2021.

A partir de uma análise de multiplicadores em Itaguara, o Gráfico 10 aponta que contabilizar-se-iam dentre os setores com maior resposta, em termos de produção, ao choque de demanda final de 1% as atividades agropecuárias e aquelas associadas à cadeia mineral, além de serviços, tais como, Intermediação Financeira, Seguros e Previdência Complementar (IntFinaSeg), Serviços de Alimentação (SerAlimen), e Serviços de Utilidade Pública (AguaEsgRec e EletGasOut).

Gráfico 10. Setores com maior multiplicador de produção (%), Itaguara



Fonte: elaboração própria a partir de dados do modelo.

Nas atividades agropecuárias com maior multiplicador, estariam Outros Produtos e Serviços da Lavoura Temporária (OutTempor), Bovinos e Outros Animais Vivos e Carne de Bovinos e Outros Produtos de Carne (BovOutAni e CarneBoiOut), Leite de Vaca e de Outros Animais e Leite Resfriado, Esterilizado e Pasteurizado (LeiteResPas e OutrLaticin), Produtos Derivados do Trigo, Mandioca ou Milho (ProdTrigMan), Milho em Grãos e Arroz, Trigo e Outros Cereais (MilhoGrao e Arroz TriCer) e Cana-de-açúcar (Canadeacu). Nesse caso, destacar-se-ia o setor Carne de Bovinos e Outros Produtos de Carne, em função de sua maior complexidade e valor agregado (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021).

Quanto às atividades associadas à cadeia mineral, os setores com maior potencial de expansão seriam Vidros, Cerâmicos e Outros Produtos de Minerais Não-Metálicos (VidCerm), Produtos Químicos Diversos (PrQuimDiv) e Peças Fundidas de Aço e de Metais Não-ferrosos (PAcoNFer).

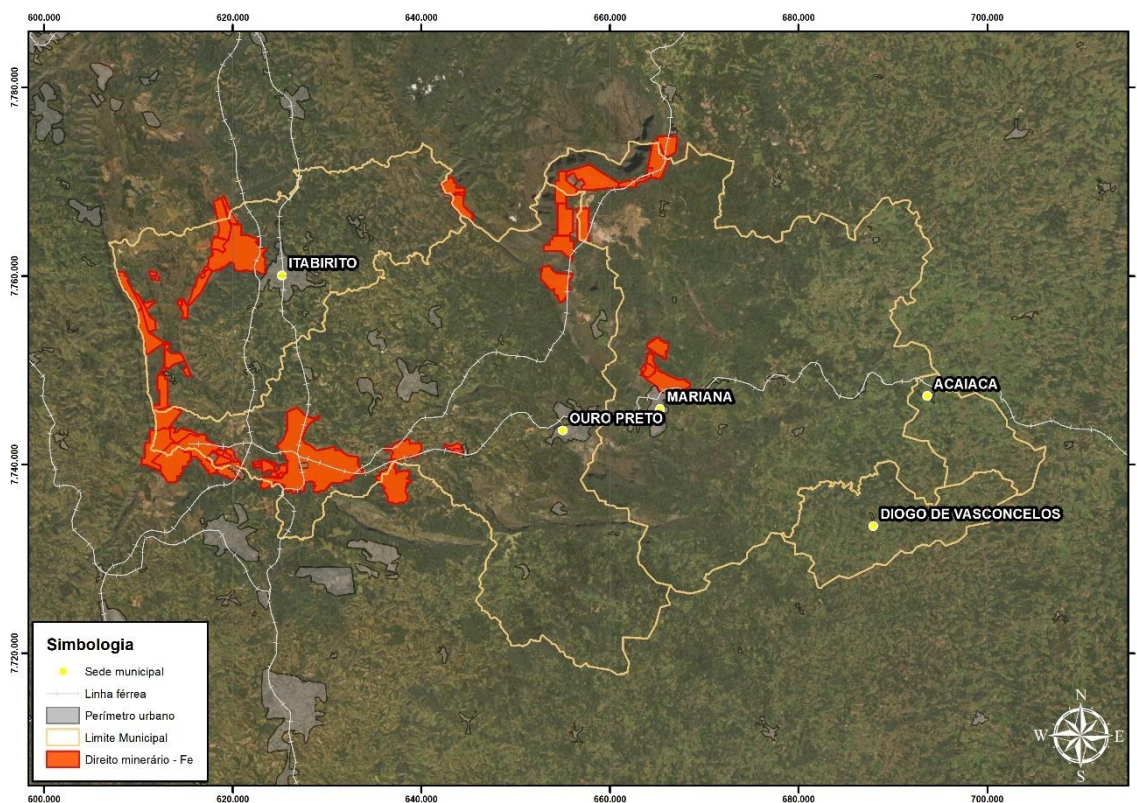
Observa-se a pronunciada diferença entre o multiplicador de produção do setor Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço e as demais atividades. Como se depreende, a cadeia mínero-metalúrgica é extremamente relevante para Itaguara, e os efeitos da contração da produção de minério de ferro teriam multiplicadores significativos, uma vez que significariam redução dos insumos para a indústria a jusante na região.

4.5. Ouro Preto

Ouro Preto era a terceira microrregião com maior Produto Interno Bruto dentre as selecionadas, dados de 2015. De acordo com base de dados construída para o modelo, ano base 2015, o setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro participou com 62,6% da produção da região, o que denota grande dependência em relação à atividade (Anexo 04).

A microrregião engloba três municípios mineradores: Mariana, Itabirito e Ouro Preto (ANM, 2020b). A Figura 19 mostra os municípios da microrregião, bem como os polígonos minerais de operações de ferro. Mariana produziu, em 2015, 54 Mt de minério de ferro, enquanto Itabirito e Ouro Preto produziram, respectivamente, 38,7 Mt e 24,6 Mt (ANM, 2020a).

Figura 19. Microrregião de Ouro Preto e polígonos minerais de ferro



Fonte: elaboração própria.

A formação de Vila Rica, hoje cidade de Ouro Preto, é intimamente ligada ao descobrimento das minas de ouro no território de Minas Gerais. Embora não haja acordo acerca das datas exatas e dos pioneiros a descobrir o ouro, afirma-se que fora na última década do século XVII, com protagonismo do desbravador Antônio Dias de Oliveira. Iniciada a exploração das minas, surgiram os arraiais de São João, Padre Faria, Antônio Dias, Bom Sucesso e Ouro Podre, que, em 1711, foram unificados na Vila Rica do Pilar do Ouro Preto. Povoado no mesmo contexto, o arraial de Nossa Senhora do Carmo, atual Mariana, foi a primeira vila criada na então Capitania de São Paulo e Minas de Ouro, e, pela função estratégica na mineração do ouro, foi a primeira capital. Em 1721, como consequência da Revolta de Vila Rica, visando inibir o contrabando e a evasão fiscal, foi criada a Capitania de Minas Gerais, separada da Capitania de São Paulo, tendo como capital Vila Rica. Ouro Preto permaneceu capital de Minas Gerais por 176 anos, até a inauguração de Belo Horizonte.

Durante a primeira metade do século XVIII, o desenvolvimento da província tornou sua capital Vila Rica um dos maiores centros populacionais do interior do território. Segundo Ferrand (1894), em 1750, existiam cerca de 80 mil trabalhadores livres ou escravos extraindo ouro na

região. O período em torno dos meados do século XVIII pode ser considerado como o apogeu da extração do ouro na região, a partir de quando a mineração começou a decair. O principal motivo da exaustão das reservas auríferas foi a utilização de métodos rudimentares de extração, de modo que o esgotamento das jazidas de mais fácil acesso tornou a atividade inviável já no início do século XIX.

Destaca-se, em Mariana, a Mina de Passagem. No ano de 1729 foram descobertas as primeiras jazidas da mina, que compreende um aglomerado de quatro lavras: Fundão, Mineralógica, Paredão e Mata-Cavalo. De acordo com Ferrand (1894), a lavra mais importante de Passagem, a Mineralógica, foi adquirida em 1784 por José Botelho Borges e, a partir da segunda metade do século XVII, o decréscimo dos teores levaram ao declínio das atividades de mineração. Com a vinda da Coroa portuguesa para o Brasil, o mineralogista e geólogo Wilhelm Ludwig von Eschwege foi encarregado de estudar formas de melhorar a produção e avaliar as possibilidades de implantar novas técnicas capazes de reabilitar a falida indústria aurífera do país.

Em 1819, Eschwege tornou-se proprietário da mina de Passagem e criou a primeira companhia mineradora do país, com o nome de Sociedade Mineralógica da Passagem. Os direitos minerários da Mina da Passagem passaram, em 1863, à *Anglo Brazilian Gold Mining Company*. Esta empresa adquiriu as lavras de Fundão, como Paredão e Mata Cavalos, e trabalhou nas jazidas de 1864 à 1873, produzindo 753.501 gramas de ouro. Em 26 de novembro de 1873, a *Anglo Brazilian Gold* foi encampada pela *The Ouro Preto Gold Mines of Brazil Limited*. A partir daí, a história da Mina de Passagem é marcada por vários proprietários, tentativas de operação e paralisações em decorrência da inviabilidade econômica do negócio. A partir de 1979, foi aberta à visitação turística a parte do complexo mineiro das Minas da Passagem, revelando-se um sucesso e funcionando ininterruptamente até a data presente³¹.

Tratando-se de Ouro Preto, é necessário destacar a inauguração da Escola de Minas de Ouro Preto, em 1876, por iniciativa de Dom Pedro II – a primeira escola de estudos mineralógicos, geológicos e metalúrgicos do Brasil. A história da EMOP se inicia com a contratação, em 1874, do cientista francês Claude Henri Gorceix para organizar o ensino de mineralogia e geologia no país. Gorceix montou um laboratório especializado nessas disciplinas na Corte e viajou para a província de Minas Gerais para escolher a melhor localização para a fundação da escola, tendo escolhido Ouro Preto para sua instalação em decorrência da importância histórica da mineração

³¹ Informações obtidas no site da Companhia Minas da Passagem. Disponível em: <https://mariana.minasdapassagem.com.br/historia/>. Acessado em: 28 jan. 2021.

para a região e da riqueza geológica de seu subsolo (CARVALHO, 2002, p. 33-37). A formação de quadros técnicos da Escola de Minas de Ouro Preto possibilitou o início de estudos sistemáticos da configuração mineral do que hoje é o Quadrilátero Ferrífero, o que foi fundamental para o início da exploração das reservas de ferro a partir das primeiras décadas do século XX.

Em Ouro Preto, as primeiras concessões de lavra foram em 1956, obtidas pelas empresas Lucape Siderurgia Ltda. e Votorantim Siderurgia S.A. Em Mariana, a extração de ferro iniciou-se em 1961, quando a Vale S.A. obtém título de lavra na região. Em 1973, foi criada a Samarco Mineração, como união das empresas Marcona Corporation e Mineração Trindade. Em 1984, a australiana Broken Hill Proprietary Mining Company (BHP) adquiriu a Marcona Corporation, e, em 2000, a Vale comprou a Samitri, de modo que cada empresa passa a ter 50% de participação na Samarco. Em Mariana, ao final do ano de 2015 ocorreu o rompimento da Barragem de Fundão, maior desastre ambiental da história do Brasil. O detalhamento desta tragédia encontra-se no capítulo 5.

As empresas que atuam nos municípios da microrregião de Ouro Preto podem ser conferidas na Tabela 13.

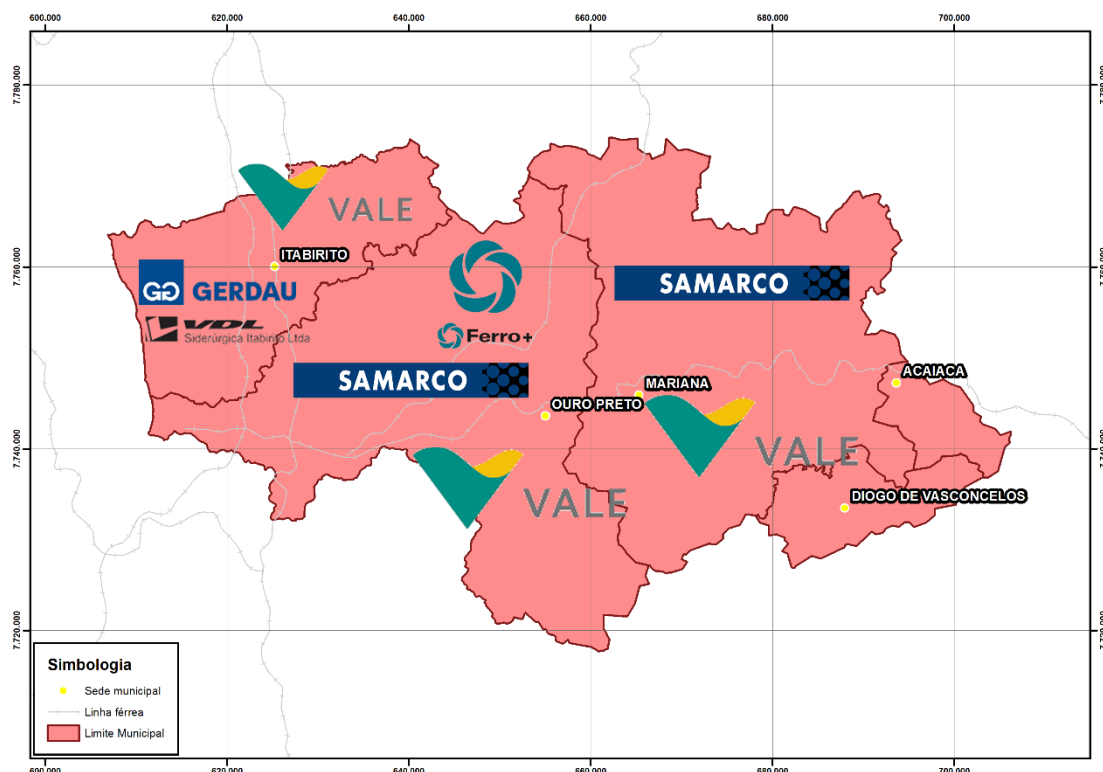
Tabela 13. Empresas que operam na microrregião de Ouro Preto

Município	Empresa	Participação operação mineral do estado
Itabirito	Minerações Brasileiras Reunidas S.A. (subsidiária da Vale)	6,9%
Itabirito	Gerdau Açominas S.A. *	2,3%
Itabirito	Safm Mineração Ltda.	0,2%
Itabirito	Mineração CONEMP Ltda.	0,1%
Itabirito	MSM Mineração Serra da Moeda Ltda.	0,0%
Mariana	Vale S.A.	9,1%
Mariana	Samarco Mineração S.A. (Joint-venture entre a Vale S.A. e BHP Billiton)	7,2%
Ouro Preto	Samarco Mineração S.A. (Joint-venture entre a Vale S.A. e BHP Billiton)	4,5%
Ouro Preto	Vale S.A.	1,1%
Ouro Preto	Ferro + Mineração S.A. (Subsidiária da J. Mendes)	0,4%
Ouro Preto	Gerdau Açominas S.A. *	0,1%

Fonte: Sistema Arrecadação CFEM (ANM, 2020b). * Empresa siderúrgica.

A Tabela 13 permite verificar que a microrregião foi responsável, em 2015, por 32% do valor da operação mineral do estado, e que é grande a presença da Vale, seja atuando diretamente ou por intermédio de controladas, montando a 28,8% do valor da operação mineral. A Gerdau Açominas também atua na região, embora com participação menor. No que se refere à arrecadação municipal, fica patente a contribuição da renda mineral: a cota-parte da CFEM participou com 19% da receita corrente bruta realizada em Mariana no ano de 2015, com 14,6% em Itabirito e 8,4% em Ouro Preto. A Figura 20 traz as principais firmas da cadeia mineral do ferro em Ouro Preto.

Figura 20. Empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Ouro Preto



Fonte: elaboração própria. Itabirito: MBR (Vale), Gerdaú, VDL Siderurgia. Mariana: Vale, Samarco. Ouro Preto: Vale, Samarco, Ferro + (J. Mendes).

A fim de empreender uma caracterização da economia da microrregião de Ouro Preto, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** traz Quociente Locacional (QL), Participação Relativa (PR) e índice Hirschman-Herfindal Modificado (HHm) para segmentos em que cada indicador apresentou valor superior a um desvio padrão da média dos setores.

Tabela 14. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Ouro Preto

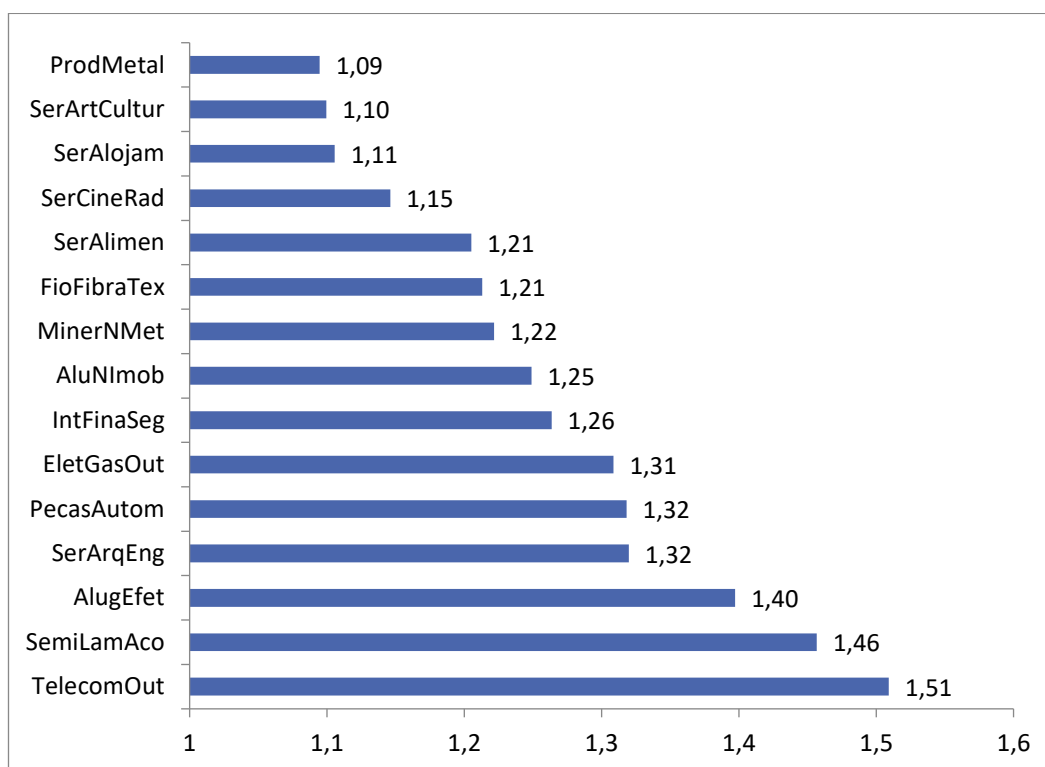
Ouro Preto	Descrição	QL	PR	HHm
AlgFibTemp	Algodão Herbáceo, Outras Fibras da Lav. Temporária	3,48	3,3%	2,3%
MínerFerro	Mínério de Ferro	20,77	19,4%	18,5%
Bebidas	Bebidas	4,19	3,9%	3,0%
FerroGussa	Ferro-gusa e Ferroligas	5,18	4,8%	3,9%
PAcoNFer	Peças Fundidas de Aço e de Metais Não-ferrosos	3,72	3,5%	2,5%
PeDesenv	Pesquisa e Desenvolvimento	9,09	8,5%	7,6%

Fonte: cálculo a partir de base de dados utilizada para o procedimento de regionalização do modelo. RAIS / ME, 2015.

De acordo com dados da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, além da extração de minério de ferro, Ouro Preto é centro de instituições de pesquisa e desenvolvimento, empregando 8,5% da mão de obra mineira alocada no setor. Encontra-se na microrregião a Universidade Federal de Ouro Preto, cujo Departamento de Engenharia de Minas (antiga Escola de Minas de Ouro Preto), estabelecido em 1876, é referência nacional na pesquisa minerária. Além disso, desde 2010, funciona em Ouro Preto e Santa Luzia, o Instituto Tecnológico Vale Mineração, organização sem fins lucrativos, vinculada à Vale, que atua em programas de ensino em nível de pós-graduação e que já desenvolveu 57 projetos de Pesquisa & Desenvolvimento.

A microrregião também apresenta elevado Quociente Locacional nos setores Ferro-gusa e Ferroligas (FerroGussa) e Peças Fundidas do Aço e de Metais Não-ferrosos (PacoNFer). De fato, os municípios de Ouro Preto e Itabirito abrigam importantes indústrias do segmento, como Novelis do Brasil Ltda., especializada na produção e exportação de ligas de alumínio, Vale Manganês, braço da Vale focada na confecção de ferroligas de manganês, e a VDL Siderurgia Ltda., firma estabelecida em Itabirito e que se dedica na produção de ferro-gusa. O setor de Bebidas desponta na microrregião em decorrência da fábrica filial da Coca-Cola localizada em Itabirito.

A análise de multiplicadores de produção traz novos elementos. Como Gráfico 11 apresenta, alguns setores terciários se destacam na economia da região, como Telecomunicações, TV por assinatura e Outros Serviços Relacionados (TelecomOut), Aluguel Efetivo e Serviços Imobiliários (AlugEfet), Serviços de Arquitetura e Engenharia (SerArqEng), Intermediação Financeira, Seguros e Previdência Complementar (IntFinaSeg), Serviços Imobiliários e Aluguéis Não-imobiliário e Gestão de Ativos de Propriedade Intelectual (AluNImob), Serviços de Alimentação, Serviços Cinematográficos, Música, Rádio e Televisão, Serviços de Alojamento em Hotéis e Similares e Serviços de Artes, Cultura, Esporte e Recreação (respectivamente SerAlimen, SerCineRad, SerAlojam, SerArtCultur). Em sua grande maioria, tais setores são dotados de alta complexidade, intensivos no uso do fator trabalho e compõem a Indústria Cultura e Criativa (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021).

Gráfico 11. Setores com maior multiplicador de produção (%), Ouro Preto

Fonte: elaboração própria a partir de dados do modelo.

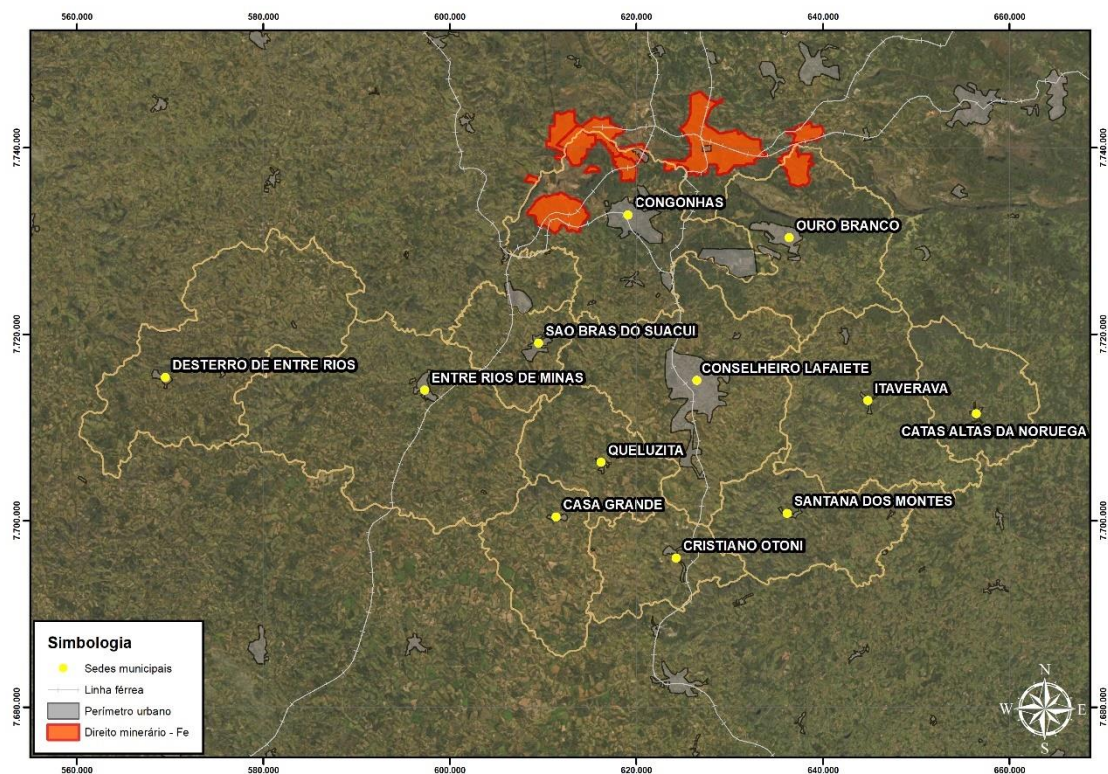
Além disso, a presença dos setores SerAlojam (Serviços de Alojamento em Hotéis e Similares) e SerAlim (Serviços de Alimentação) mostra que a atividade turística também é relevante na região. Ouro Preto é uma das primeiras cidades tombadas pelo Iphan, em 1938, e a primeira cidade brasileira a receber o título de Patrimônio Mundial, conferido pela Unesco, em 1980. Já Mariana, primeira capital de Minas Gerais, é a única cidade planejada entre os núcleos coloniais mineiros. O seu centro histórico, tombado pelo Iphan, em 1945, apresenta um acervo arquitetônico composto por monumentos que marcam os anos áureos da opulência do passado marcado pela mineração de ouro. Ouro Preto e Mariana guardam uma parte significativa do acervo histórico e cultural da herança de mineração ocorrida no Brasil, uma vez que, passaram pelos ciclos do ouro, diamantes e ferro e dispõem de atrativos históricos, tais como, o Museu da Inconfidência, Museu de Arte Sacra e Museu da Siderurgia. Assim, o turismo histórico é de grande relevância para os dois municípios, com destaque para Ouro Preto. A região ainda dispõe de atrativos naturais, como serras, paredões e cachoeiras, concentrados no Parque Natural Cachoeira das Andorinhas e o Parque Estadual do Itacolomi, por exemplo, o que incentiva o turismo ecológico e de aventuras. Segundo dados da Secretaria Municipal de Turismo, Indústria e Comércio, cerca de 500 eventos entre congressos, palestras, encontros, festivais e

comemorações populares apoiados pela prefeitura são realizados anualmente na cidade, atraindo mais de 500 mil turistas.

4.6. Conselheiro Lafaiete

Segundo base de dados construída para o modelo, o setor Semi-acabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço participa com 27,5% da produção da microrregião de Conselheiro Lafaiete, enquanto a Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro compreende 26,8% (Anexo 04). Apesar da importância deste setor, Congonhas é o único município a possuí-lo na microrregião. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** traz as cidades da microrregião e os polígonos minerais de operações de ferro.

Figura 21. Microrregião de Conselheiro Lafaiete e polígonos minerais



Fonte: elaboração própria.

O estabelecimento de povoados na região de Congonhas decorre, como os outros núcleos mineiros anteriormente tratados, da exploração do ouro e de pedras preciosas. Após se fixarem, em 1700, na Vila Real de Queluz (atual Conselheiro Lafaiete), os exploradores fundaram o arraial de Congonhas do Campo, em 1734. A descoberta de ouro no rio Maranhão, posteriormente, levou a população a se fixar nas proximidades. Não obstante, as limitações

técnicas e os métodos predatórios de exploração dos diamantes e do ouro fizeram com que os recursos fossem exauridos prematuramente, impingindo marasmo econômico ao município, até que se inicia a exploração do minério de ferro.

A exploração de ferro na região de Congonhas está ligada à história da siderurgia no Brasil. Entre 1808 e 1812, o setor siderúrgico recebeu os primeiros financiamentos, que possibilitaram a implantação de três unidades: a Real Fábrica de Ferro de São João de Ipanema (Araçoiaba, SP), a Real Fábrica de Ferro do Morro do Pilar (MG) e a Fábrica de Ferro Patriótica em Congonhas. Esta última, de iniciativa de Wilhelm Ludwig von Eschwege, foi construída entre 1811 e 1812. A escolha do local do empreendimento foi baseada na disponibilidade de minério de ferro, água e florestas para produção de carvão. A fábrica funcionou até 1822, quando entrou em falência devido à concorrência de outras unidades siderúrgicas que vinham sendo implantadas em Minas Gerais (AZEVEDO, 2007).

Em 1911, o dinamarquês Arn Thun comprou terrenos do então barão de Paraopeba na cidade de Congonhas para dar início às atividades na mina de Casa de Pedra. Em 1913, ela começa a extrair minério de ferro. Em 1943, como forma de garantir o abastecimento de minério de ferro para o funcionamento da Companhia Siderúrgica Nacional, a empresa de Arn Thun foi colocada sob intervenção e desapropriada em 1946, passando à propriedade da CSN, que a opera desde então (MILANEZ, 2011). A CSN não tem usinas na região, apenas em Volta Redonda (RJ), Porto Real (RJ), e em Araucária (PR), e parte do minério de Congonhas é exportado.

Em 2015, Congonhas produziu 53 Mt de minério de ferro. As operações minerais realizadas no município podem ser verificadas na Tabela 15. De acordo com a mesma, Conselheiro Lafaiete participa com 12,3% no valor da operação de minério de ferro do estado. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** evidencia as principais empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião.

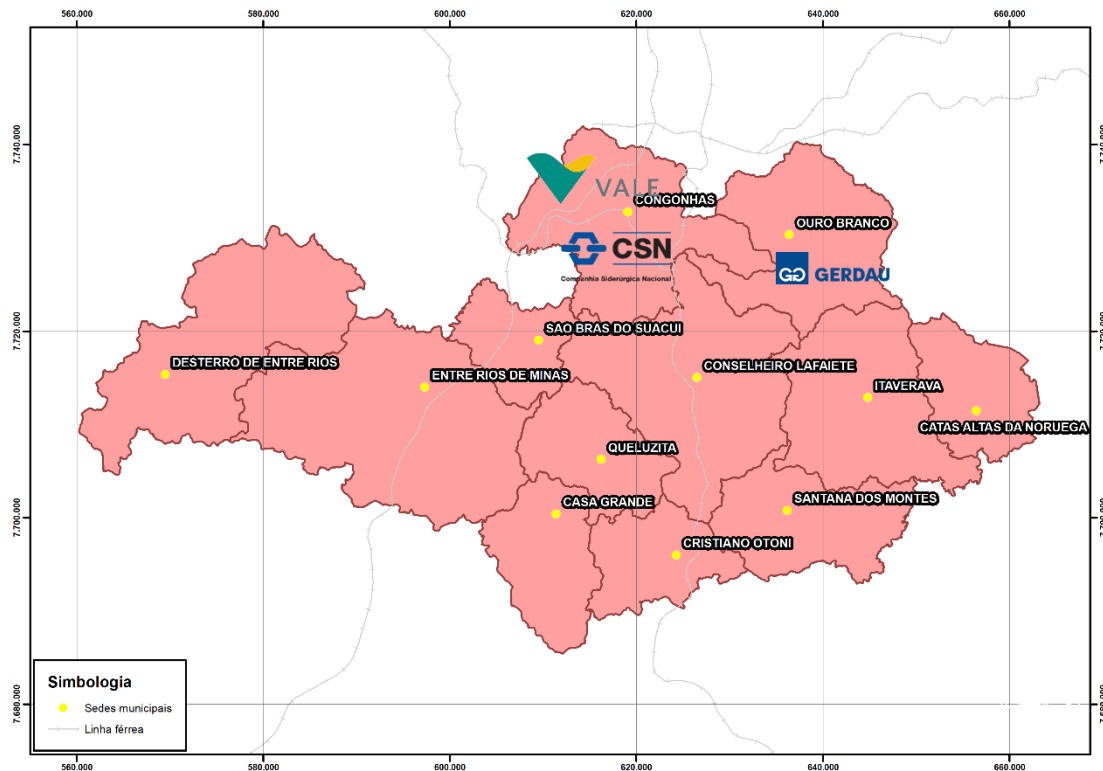
Tabela 15. Empresas que operam na microrregião de Conselheiro Lafaiete

Empresa	Participação operação mineral do estado
Companhia Siderúrgica Nacional Mineração S.A. *	8,1%
Vale S.A.	2,7%
Ferrous Resources do Brasil S.A. (subsidiária da Vale)	0,9%
Nacional Minerios S.A.	0,6%
Ferro + Mineração S.a. (subsidiária da J. Mendes)	0,0%

Fonte: Sistema Arrecadação CFEM (ANM, 2020b). * Empresa siderúrgica.

Apesar do emprego e receitas fiscais geradas pela mineração – 13% da receita corrente bruta realizada em 2015 deveu-se à cota-parte da CFEM em Congonhas –, o município passa por tensão constante. 24 barragens cercam a cidade, sendo que a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) tem 13 estruturas, a Vale e a Gerdau 5 cada, e a Ferrous, 1 barragem. Embora elas estejam incluídas na categoria de risco baixo, 13 delas têm potencial associado considerado alto. A Barragem Casa de Pedra, da CSN, a maior delas é localizada na área urbana, distando apenas 250 metros das casas (RODRIGUES, 2019).

Figura 22. Principais empresas da cadeia mineral do ferro na microrregião de Conselheiro Lafaiete



Fonte: elaboração própria. Congonhas: Companhia Siderúrgica Nacional, Vale, Ferrous Resources (Vale). Ouro Branco: Gerdau.

Debaixo dos 50 milhões de m³ de rejeitos, além da população, a cidade guarda um precioso patrimônio cultural: Congonhas possui um dos mais importantes acervos arquitetônicos e artísticos de Minas Gerais. Além de ser um testemunho das construções e dos programas decorativos do barroco mineiro, abriga o Santuário do Senhor Bom Jesus de Matozinhos, elevado em 1985 pela UNESCO a Monumento Cultural da Humanidade.

Congonhas participa, com outros 14 municípios, do Consórcio Público para o Desenvolvimento do Alto Paraopeba. O CODAP é de extrema relevância no arranjo de governança da mineração regional. Trata-se de uma iniciativa originada localmente, provocada pelas lideranças da administração pública da região do Alto Paraopeba, contida no Quadrilátero Ferrífero, e abarca tanto os municípios mineradores quanto o entorno não minerador, mas que sofre influências diretas dessa atividade. O intuito do consórcio é levar desenvolvimento econômico para a região a partir de iniciativas como a elaboração de planos de desenvolvimento regional, a contratação conjunta de serviços, entre outras.

Além disso, destaca-se, em 2011, a instituição do Geopark Quadrilátero Ferrífero, diante da decisão de formalizar junto à UNESCO o pedido de reconhecimento da região do Alto do Paraopeba como Patrimônio Histórico da Humanidade. Desde então, as instituições vêm dedicando esforços para a construção de um conjunto de instrumentos formais de cooperação, tais como acordos e protocolos, conselhos temáticos de desenvolvimento, projetos e programas colaborativos. Tudo isso está sendo feito com o objetivo de garantir a legitimidade e credibilidade institucional do projeto que pretende escalonar essa proposta de atuação para outros territórios minerários de Minas Gerais.

A fim de caracterizar a estrutura produtiva da microrregião de Conselheiro Lafaiete, a Tabela 16 mostra os valores de Quociente Locacional (QL), Participação Relativa (PR) e índice Hirschman-Herfindal Modificado (HHm) que a micro apresenta nos três setores em que se verifica especialização produtiva. O critério de seleção destes setores foi o valor de cada indicador ser superior em um desvio padrão da média.

Tabela 16. QL, PR e HHm para setores selecionados da microrregião de Conselheiro Lafaiete

Conselheiro Lafaiete	Descrição	QL	PR	HHm
MinerFerro	Minério de Ferro	17,55	20,3%	19,1%
SemiLamAco	Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço	13,65	15,8%	14,6%
ManuRep	Manutenção, Reparação e Instalação de Máquinas e Equipamentos	5,25	6,1%	4,9%

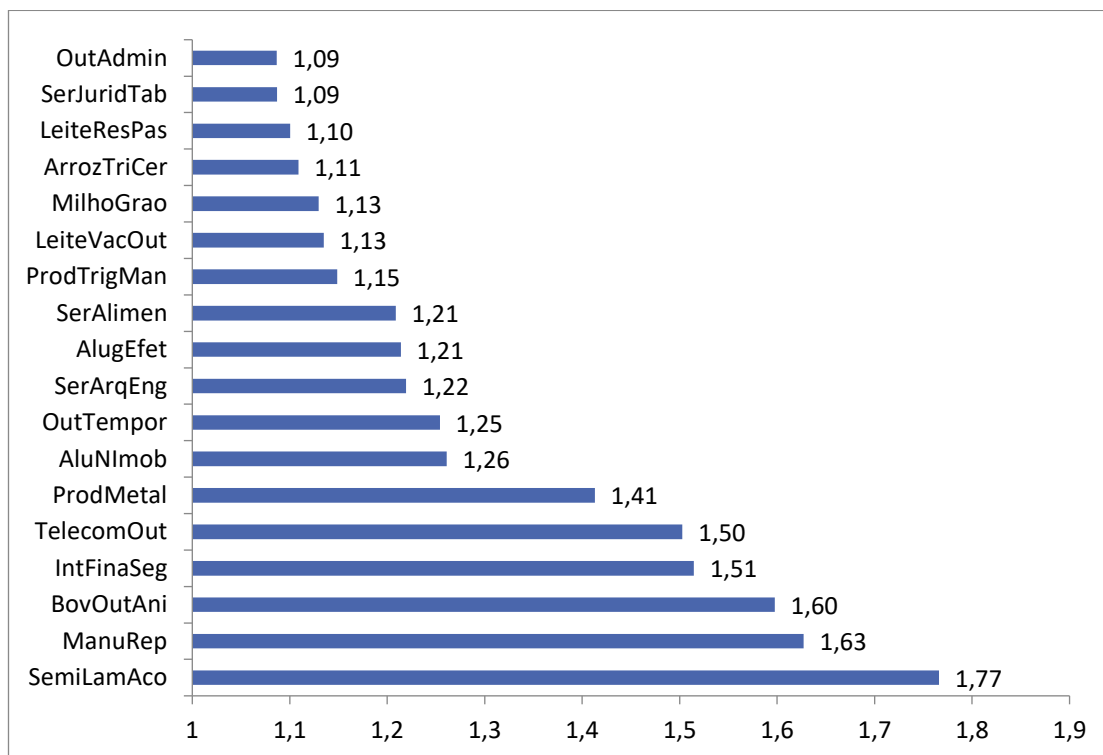
Fonte: cálculo a partir de base de dados utilizada para o procedimento de regionalização do modelo. RAIS / ME, 2015.

De acordo com a Tabela 16, a microrregião de Conselheiro Lafaiete engloba 20,3% da mão de obra estadual alocada no setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro. Embora a Companhia Siderúrgica Nacional se destaque em Conselheiro Lafaiete, é a Gerdau que tem

unidade de siderurgia em Ouro Branco, empregando 4.800 funcionários na produção de laminados longos de aço (CIEMG, 2020). Esse efetivo corresponde a 15,8% dos trabalhadores de Minas Gerais empregados no setor. Outro segmento evidenciado pela análise de quociente locacional é manutenção e instalação de máquinas e equipamentos (ManuRep). Não obstante, cotejando com informações do Cadastro Industrial de Minas Gerais (2020), tratam-se de empresas de pequeno porte, associadas à indústria mecânica e metalúrgica.

A análise de multiplicadores evidencia outros segmentos com importância econômica na região de Conselheiro Lafaiete, como o Gráfico 12 apresenta. Dentre os setores agropecuários, destacar-se-iam Bovinos e Outros Animais Vivos (BovOutAni), Leite de Vaca e de Outros Animais (LeiteVacOut) e Leite Resfriado, Esterilizado e Pasteurizado (LeiteResPas), Outros Produtos e Serviços da Lavoura Temporária (OutTempor), Milho em Grãos (MilhoGrao), Arroz, Trigo e Outros Cereais (ArrozTriCer) e Produtos Derivados do Trigo, Mandioca ou Milho (ProdTrigMan). Tais setores estariam relacionados a atividades de baixo valor agregado e baixa complexidade.

Em linha com o encontrado para outras regiões, apresentariam maiores multiplicadores os setores Intermediação Financeira, Seguros e Previdência Complementar (IntFinaSeg), Telecomunicações, TV por Assinatura e Outros Serviços Relacionados (TelecomOut), Aluguéis Não-imobiliários e Gestão de Ativos de Propriedade Intelectual (AluNImob), Aluguel Efetivo e Serviços Imobiliários (AlugEfet), Serviços de Arquitetura e Engenharia (SerArqEng), Serviços de Alimentação (SerAlimen), Serviços Jurídicos, Contabilidade e Consultoria (SerJuridTab) e Outros Serviços Administrativos (OutAdmin).

Gráfico 12. Setores com maior multiplicador de produção (%), Conselheiro Lafaiete

Fonte: elaboração própria a partir de dados do modelo.

Os valores significativos para Semi-acabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço (SemiLamAco) e Produtos de Metal (ProdMetal) poderiam indicar que a extração mineral confere vantagens comparativas a atividades a jusante da cadeia mineral na região. Assim, essas atividades poderiam magnificar, em termos de efeitos multiplicadores, os impactos da retração da produção de minério de ferro.

4.7. Dependência regional

Para verificar a hipótese de dependência das microrregiões em relação ao desempenho do setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro, hipótese aventada em vários pontos da caracterização efetuada neste capítulo, foram calculados dois índices a partir da base de dados construída para o modelo de equilíbrio geral computável. Utilizando a participação da produção setorial em cada microrregião (disponível no Anexo 04), tais índices buscam estimar a diversificação das microrregiões mineiras e a vulnerabilidade econômica em relação ao setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro ou às atividades da cadeia mineral. A construção dos dois índices pode ser conferida no Anexo 01. É necessário ressaltar que o índice de vulnerabilidade segue de uma normalização a partir dos resultados do índice de dependência, de modo que haverá uma região marcando 100 e outra 0.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** traz os indicadores para as microrregiões mineiras e para Minas Gerais. Quanto maior a dependência de uma região a um setor, menor o Índice de Diversificação e maior o Índice de Vulnerabilidade da região em relação ao mesmo.

Tabela 17. Índice de diversificação e vulnerabilidade, microrregiões mineiras

Microrregião	Índice de diversificação	Índice de vulnerabilidade (mfe)	Índice de vulnerabilidade (transf.)
Conceição do Mato Dentro	45,5	74,7	0,0
Belo Horizonte	65,4	0,0	5,9
Itabira	60,0	38,6	15,7
Itaguara	50,9	35,4	100,0
Ouro Preto	37,9	100,0	12,8
Conselheiro Lafaiete	62,4	24,5	52,7
MG	69,6	0,9	8,9

Fonte: elaboração própria.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** permite concluir que a região de Ouro Preto tem o maior grau de concentração produtiva, seguido por Conceição do Mato Dentro, ao passo que Belo Horizonte e Conselheiro Lafaiete apresentam economias mais diversificadas, o que poderia ser explicado pelo fato de que estas microrregiões serem aquelas em que o setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro apresenta a menor participação. O índice de vulnerabilidade confirma as observações, uma vez que Ouro Preto e Conceição do Mato Dentro apresentam os maiores valores. Instaurar estratégias de desenvolvimento local na região de Ouro Preto é crucial, já que há, concomitantemente, alta dependência do setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro e baixa diversificação econômica em um território que já experienciou relevância na economia de Minas Gerais e do Brasil Colônia e possui contingente populacional significativo. Haverá perda econômica e de bem estar para a população residente caso a desaceleração do setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro se concretize. Para Conceição do Mato Dentro, é notável que a dependência à mineração seja próxima ao verificado em Ouro Preto, uma vez que neste a atividade minerária é secular, dada a história do ouro e o desenvolvimento de extração de ferro já nos anos 1960, ao passo que em Conceição as iniciativas da Anglo datam da década de 2010. Por fim, percebe-se que Itaguara e Conselheiro Lafaiete possuem maior dependência em relação às atividades a jusante da cadeia mineral, o que reitera a preocupação com os efeitos intersetoriais que a retração da

produção minerária poderia causar nas localidades. No capítulo que se segue, essa retração é simulada, buscando-se assim aferir os efeitos econômicos sobre as microrregiões estudadas.

Capítulo 5. Simulações e principais resultados

Este capítulo apresenta o experimento objetivado por esta tese, ao simular a interrupção parcial da atividade mineradora em Minas Gerais. A primeira seção introduz o contexto motivador que justifica a realização desse exercício analítico, descrevendo os dois desastres com barragens de rejeitos a montante acontecidos no estado, bem como os possíveis desdobramentos setoriais. A segunda seção especifica as hipóteses por trás do cálculo dos choques de produção, corroboradas por um esforço de pesquisa, feito nesta tese, de caracterizar a configuração do setor do ferro mineiro. A terceira seção apresenta o fechamento do modelo, isto é, a distribuição de variáveis exógenas e endógenas. À quarta seção cabe a apresentação dos resultados da simulação, focando nos efeitos econômicos e sobre a estrutura produtiva. A quinta seção traz os resultados de uma segunda simulação, que almeja identificar os setores com maior potencial para promover o desenvolvimento local.

5.1. Rompimentos, descomissionamentos e descaracterização de barragens de mineração

Durante o superciclo da mineração, período compreendido entre os anos 2002 e 2012, houve tanto a expansão da capacidade produtiva quanto a implantação de novas operações minerárias no território brasileiro. Ambos os movimentos foram impulsionados pelo choque positivo da demanda externa e, portanto, com a aceleração do ritmo de extração dos bens minerais.

O progresso científico e tecnológico na mineração se concentrou nas fases de pesquisa, prospecção e lavra mineral. Os avanços na exploração de jazidas com teor de minério cada vez menor e, mais recentemente, a adoção de tecnologias digitais e de práticas da indústria 4.0, por parte das principais empresas do setor, marcaram o início do século XXI. Em suma, houve um intenso processo de acúmulo de conhecimento científico e tecnológico envolvendo o processo de extração de minério, principalmente nas atividades de lavra e pelotização de minério de ferro, progresso que não foi observado na mesma intensidade no tratamento dos rejeitos, em especial na mineração do Brasil, onde as normas ambientais e a abundância de recursos naturais representaram desincentivo à adoção de práticas sustentáveis (PINHEIRO, 2000).

Tanto pela aceleração do ritmo de extração quanto pela reativação de minas inferiores, o que se verificou foi a aceleração da produção de rejeitos da mineração. Com a crise internacional de 2008-2009, houve o conseqüente desaquecimento da demanda e queda dos preços internacionais das *commodities* minerais em um contexto setorial de sobre-oferta do minério de ferro. Iniciou-se o período do *bust* mineral e seus impactos, incluindo o aumento do número de

minas vaga-lume, desativadas ou reativadas de acordo com as variações dos preços internacionais das *commodities* minerais, intensificação do ritmo de extração e corte de custos não relacionados ao *core business* da mineração, sobretudo nas atividades de planejamento, segurança, ambientais e sociais. Isso impactou principalmente o processo produtivo da mineração em Minas Gerais, em função do menor teor relativo das *commodities* minerais, relacionado à idade das minas em operação no seu território. Fato é que seja em função do superciclo ou em função do *bust* mineral, as duas últimas décadas foram marcadas pela aceleração da extração dos bens minerais no território brasileiro, em especial, em Minas Gerais. Isso se relaciona diretamente com o crescimento do volume gerado de rejeitos depositados nas barragens associadas aos empreendimentos minerários.

O *boom*, superciclo, seguido pelo *bust* mineral, pode estar associado ao aumento da ocorrência de rompimentos ou acidentes envolvendo barragens de rejeitos, principalmente na fase inicial de recessão do ciclo. De maneira geral, o aumento de produção contribui para o crescimento do volume de rejeitos e a necessidade de redução de custo pode ampliar consideravelmente o risco e o potencial dos danos de desastres envolvendo barragens de rejeitos minerários (BOWKER, CHAMBERS, 2015; DAVIES; MARTIN, 2009).

Na tarde do dia 5 de novembro de 2015, o rompimento de um dos diques da barragem de rejeitos do Fundão, da mineradora Samarco Mineração S.A., localizada no município de Mariana, resultou em uma enxurrada de lama e rejeitos minerários sobre a Bacia do Rio Doce, o que acarretou significativas perdas ambientais, humanas e materiais. O rompimento foi considerado o maior desastre ambiental do país e o maior do mundo desse tipo e se tornou um ícone do superciclo da mineração no Brasil (SESSA, SIMONATO & DOMINGUES, 2016).

O volume do vazamento atingiu cerca de 60 milhões de metros cúbicos de rejeitos e a onda de lama percorreu 663 km de distância e seguiu pelos rios Gualaxo do Norte e Carmo antes de atingir o rio Doce e ocupar 80km² no mar a partir de sua foz. A avalanche de lama causou a perda de 19 vidas e deixou 1.200 desabrigados, destruiu ao menos 1.469 hectares de terras, além de uma série de outros impactos ambientais e econômicos, com forte repercussão na mídia e sociedade civil (ANA, 2015; IBAMA, 2015).

O evento foi considerado pelas agências de risco como o maior desastre da história do país, enquadrando-se no grau IV segundo a classificação da Defesa civil (IBAMA, 2015; IBAMA, 2016). Este é o nível mais grave, caracterizado por eventos que causam perdas e danos em

grande escala sem a possibilidade de superação de maneira independente pelas regiões atingidas, com possibilidade de recomposição apenas por meio de recursos estaduais e federais por meio do Sistema Nacional de Defesa Civil (DE CASTRO, 1999). O desastre foi considerado também como violador dos direitos humanos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015).

O governo de MG estimou que, do ponto de vista econômico, os prejuízos à infraestrutura e ao setor privado totalizaram R\$ 1,04 bilhões, excluindo-se os impactos com a paralisação da atividade minerária local. Deste montante, R\$ 408 milhões sobre o patrimônio comunitário (concentrados na comunidade de Bento Rodrigues), R\$ 435 milhões sobre a indústria, R\$ 45 milhões sobre os serviços e R\$ 42 milhões sobre a pecuária regional (SEDRU/MG, 2016). Segundo essa estimativa, sugere-se que os principais impactos diretos se referem aos danos à infraestrutura urbana (pública e privada) e rural (morte de animais, perda de máquinas e equipamentos agrícolas, perdas de lavouras e paralisação da produção rural). Somar-se-iam a isso os gastos, especialmente públicos, vinculados às ações emergenciais para mitigar o impacto imediato do desastre sobre a população (abastecimento de água, geração de energia elétrica, abrigo e alimentação). Ressalta-se que esses impactos estimados pelo governo de MG correspondem, em boa medida, ao trecho de aproximadamente 77 quilômetros em que a onda de lama causou maior efeito destrutivo por extrapolar a calha dos rios. Outro fator de impacto no caso de Mariana, foi a redução de várias atividades econômicas das regiões afetadas nos dois estados (agricultura, pecuária, turismo, comércio) e, conseqüentemente, do aumento do desemprego e da redução da base tributária, especialmente a advinda da interrupção da produção minerária e seus impactos encadeados no restante da economia (SIMONATO, 2016).

As incongruências entre a magnitude dos impactos previstos no plano de emergência apresentado no licenciamento da barragem do Fundão e os que ocorreram de fato indicaram falhas graves no processo de licenciamento ambiental, na fiscalização das barragens e na gestão de crises (G1, 2015). Do ponto de vista da regulação e fiscalização da atividade minerária, o rompimento da barragem de Fundão levou à revisão do processo de trabalho de fiscalização da segurança de barragens de rejeitos da mineração, por parte do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), antigo órgão regulador do setor que foi substituído pela Agência Nacional da Mineração (ANM).

Como o rompimento envolveu uma estrutura de duas dos maiores *players* do mercado transoceânico do minério de ferro, Vale e BHP Billiton, com elevado grau de maturidade no

âmbito da sustentabilidade, houve o questionamento generalizado das condições de segurança da atividade minerária brasileira. Em resposta, o DNPM adotou uma série de medidas:

- a) aumento das inspeções de campo nas estruturas remanescentes no Complexo de Germano;
- b) aumento das inspeções in loco nas demais 220 barragens inseridas no Plano Nacional de Segurança das Barragens (PNSB) PNSB no estado de Minas Gerais e aquelas outras no restante do Brasil, objetivando a verificação do estado de conservação das estruturas por diferentes parâmetros técnicos, bem como a classificação de tais barragens segundo as normas vigentes;
- c) atualização do cadastro nacional de barragens de mineração e de sua classificação quanto ao risco e dano potencial associado;
- d) treinamento de técnicos do DNPM para reforço da equipe de fiscalização de segurança de barragem da autarquia e remanejamento de força de trabalho para atuação prioritária no assunto;
- e) Promoção de reuniões técnicas e eventos com especialistas, com empresas de tecnologia de monitoramento das estruturas, com auditores e com empresas mineradoras; realização de revisões de atos normativos do DNPM, inclusive para implantação de novas tecnologias de monitoramento das estruturas e de alarmes para situações emergenciais, bem como o desenvolvimento e implementação do Sistema Integrado de Gerenciamento da Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), concebido para receber, dentre outras funcionalidades, os dados das inspeções quinzenais das estruturas realizadas pelos empreendedores, proprietários das estruturas de disposição de rejeitos; e
- f) criação de setor específico para fiscalização de barragens de rejeito, no âmbito da estrutura da nova Agência Nacional de Mineração. (ANM, 2019, p. 4).

Essas medidas parecem não ter sido suficientes para evitar novos acidentes envolvendo barragens de rejeito. Na tarde do dia 25 de janeiro, ano 2019, houve o rompimento de uma das barragens da mina Córrego do Feijão, no município de Brumadinho, Minas Gerais, sob responsabilidade da empresa Vale. Aproximadamente 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos úmidos de minério de ferro vazaram e percorreram o leito do ribeirão Ferro-Carvão, atingindo inicialmente as instalações da companhia. A onda de lama de rejeitos alcançou de imediato toda a localidade de Córrego do Feijão e posteriormente a cidade de Brumadinho. Uma onda de rejeitos, mais espessa e com menor mobilidade, atingiu o Rio Paraopeba e seguiu em direção ao Rio São Francisco. A área de impacto imediato atingiu cerca de 2 km (FIOCRUZ, 2019).

O desastre de Brumadinho, diferentemente do que aconteceu em Mariana, foi marcado, sobretudo, pelas perdas humanas. Até novembro de 2020, foram registrados 259 mortos e 11 seguem desaparecidos, o que leva o total de fatalidades a 270 pessoas, em sua maioria trabalhadores ou terceirizados da empresa (ANDRADE, COLODETI & ADAID, 2020). Estes

números tornam esta a maior ocorrência de fatalidades decorrente diretamente da atividade mineral no país³².

As repercussões do rompimento da barragem de rejeitos do Córrego do Feijão ainda estão em curso e superam a reparação direta dos danos gerados localmente. O histórico recente de acidentes em barragens de mineração³³ coloca em xeque a estabilidade do modelo construtivo a montante, largamente adotada entre as décadas de 70 e 90 pelo menor custo ao empreendedor. O consenso atual quanto a maior eficiência de outros métodos de construção e de alteamento (a jusante e em linha de centro) evidencia que o método a montante se encontra obsoleto. Além disso, algumas dessas estruturas, que foram construídas há dezenas de anos, passaram por alteamentos sucessivos, o que aumentou consideravelmente a carga de rejeitos em suas bacias e dificultou o levantamento confiável do seu histórico de edificações (ANM, 2019).

Por se tratar de uma barragem de rejeito que, aparentemente, estava de acordo com todas as legislações ambientais em vigor, iniciou-se uma nova onda de pânico e de desconfiança em relação à estabilidade de todas as demais barragens. Pode-se dizer, com o acidente de Brumadinho, que as mudanças legislativas, de fiscalização e regulação ocorridas após a efetivação da Lei nº 12.334/2010 (que estabelece a Política Nacional de Segurança das Barragens) e da Regulação de Barragens pela Portaria DNPM nº 70.389/2017 (emitida após o desastre de Mariana) não foram suficientes para garantir a segurança da operação minerária no Brasil.

Quase que imediatamente após o rompimento da barragem do Feijão, foi anunciada pela ANM a realização instantânea de auditorias em seus procedimentos e revisão dos atos normativos orientadores da fiscalização de segurança de barragens. Na Resolução nº 4/2019, ficam proibidas a utilização do método construtivo a montante e a realização de novos alteamentos, e o empreendedor torna-se obrigado a construir uma contenção a jusante da estrutura. Além disso, é imposto, até 2023, o descomissionamento e a descaracterização de barragens construídas ou alteadas a montante, sendo que as estruturas devem passar por monitoramento frequente e intenso até que esse processo seja concluído (BRASIL, 2019a).

³² Os registros de mortes causadas por acidente do trabalho foram de 2.096 pessoas em 2017, segundo o Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho 2017. Só o desastre de Brumadinho representaria 17% do total de fatalidades de trabalho de 2017.

³³ A saber, rompimento, em 2014, da barragem de Itabirito, controlada pela Herculano Mineração; rompimento de barragem da mina de Mount Polley, no Canadá, também no ano de 2014; desastre ambiental de Mariana, em 2015, de responsabilidade da Samarco Mineração; e desastre de Brumadinho, em 2019, da Vale.

Para além dessas medidas, a ANM instituiu, em caráter de urgência, a retirada de todas as instalações com ocupação humana que existam na Zona de Autossalvamento (ZAS) a jusante das barragens de rejeito de mineração que possuíam sua estrutura construída ou composta por alteamentos a montante, a fim de reduzir o dano potencial associado dessas barragens. Além disso, proibiu a construção de diques de represamento de água na ZAS, para evitar que o rejeito ganhe fluidez no caso de rompimento, e a construção ou manutenção de quaisquer estruturas nas ZAS. Foi disposto também que o fator de segurança para barragens com proeminência do fenômeno de liquefação seja superior a 1,3 para a análise não drenada, o que, na prática, impõe maior rigor e vigilância em relação às condições técnicas da barragem, visando a segurança das populações a jusante. (ANM, 2019; BRASIL, 2019a).

Posteriormente, com a Resolução nº 13/2019, os prazos de descomissionamento e descaracterização foram prorrogados: até 2022, barragens com volume até 12 milhões m³; até 2025, para barragens com volume entre 12 milhões e 30 milhões m³; e até 2027, para barragens com volume superior a 30 milhões m³ (BRASIL, 2019b). Para a consecução desses procedimentos, será necessário novamente rever e adequar a legislação vigente, além das próprias normativas e procedimentos de fiscalização, monitoramento e gerenciamento das barragens de rejeito em si.

É importante destacar também a ocorrência de novas situações de alertas no Sistema de Gestão Integrada de Barragens da Mineração (SIGBM), gerenciado pela ANM, envolvendo estruturas de mineração com o mesmo método construtivo (a montante). Em 7 de fevereiro de 2019, foi informado pela Vale que o Fator de Segurança da barragem da Mina de Gongo Soco estava abaixo do especificado nas normas e, por isso, a mesma entrou em Nível de Emergência. Horas após, passou para Nível 2 e foi necessário ligar as sirenes de evacuação na cidade de Barão de Cocais, Minas Gerais (ANM, 2019).

Ainda em 07 de fevereiro de 2019, a Barragem de Rejeitos da ArcelorMittal entrou em inspeção especial e em Nível de Emergência 2. Foi necessário evacuar a população de Itatiaiuçu, Minas Gerais. Já em 09 de fevereiro de 2019, no Mato Grosso, dados da Barragem Bravo 1 indicaram desconformidade do Fator de Segurança (ANM, 2019).

Em suma, após Brumadinho, cinco barragens entraram na fase de alerta máximo de rompimento, nos municípios de Barão de Cocais (Mina Gongo Soco, barragem Sul Superior), Ouro Preto (Forquilha I e Forquilha II), Nova Lima (barragem B3 e B4, distrito de São

Sebastião das águas Claras - Macacos) e Itatiaiuçu. Em todos os casos, houve o acionamento das sirenes de alerta e evacuação preventiva dos moradores que residiam nas zonas de auto salvamento primárias, totalizando mais de mil pessoas desalojadas.

De acordo com dados do Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração, Minas Gerais apresenta 39 barragens de rejeito alteadas a montante ou por método construtivo desconhecido, associadas a operações de extração de minério de ferro (ANM, 2020d). Em alguns casos, houve o aumento do nível de segurança da barragem para 2 ou 3, exigindo a evacuação das zonas de autossalvamento. Em outros, a própria empresa decidiu por suspender as atividades minerárias durante o processo de revisão. Outro fator relevante é a recusa de empresas terceirizadas, responsáveis por realizar auditorias de segurança nas barragens, a fornecer os laudos que atestam a segurança das estruturas (VALE, 2019a).

Como resultado dos processos de descomissionamento e descaracterização das barragens alteadas a montante, algumas empresas do setor anunciaram a paralisação ou redução de suas atividades em Minas Gerais, principalmente a Vale. A próxima seção apresenta estimativas para tentar quantificar quais territórios seriam impactados com essa interrupção parcial e qual a magnitude em termos da produção setorial.

5.2. Descrição de cenários e choques

O montante exato da desaceleração da produção do minério de ferro em Minas Gerais não está consolidado, visto que não há informações, mina a mina, da retração esperada em decorrência dos procedimentos de descaracterização e descomissionamento. É certo que um empreendimento com barragem alteada a montante pode ter disponível outras formas de disposição dos subprodutos da atividade mineral, de modo que a descaracterização e descomissionamento possam não implicar necessariamente paralisação da lavra. De fato, a configuração das operações minerais no espaço é complexa, uma vez que uma mina, em geral, utiliza mais de uma estrutura de contenção de rejeitos, e uma mesma barragem pode servir a diferentes empreendimentos e empreendedores (caso da Vale e Samarco que lançavam rejeitos na Barragem de Fundão, Mariana – MG). Além disso, muitas estruturas do tipo já estão desativadas, mas não descaracterizadas, isto é, não há mais alteamento da barragem, sendo o rejeito da atividade mineral lançado em outro destino.

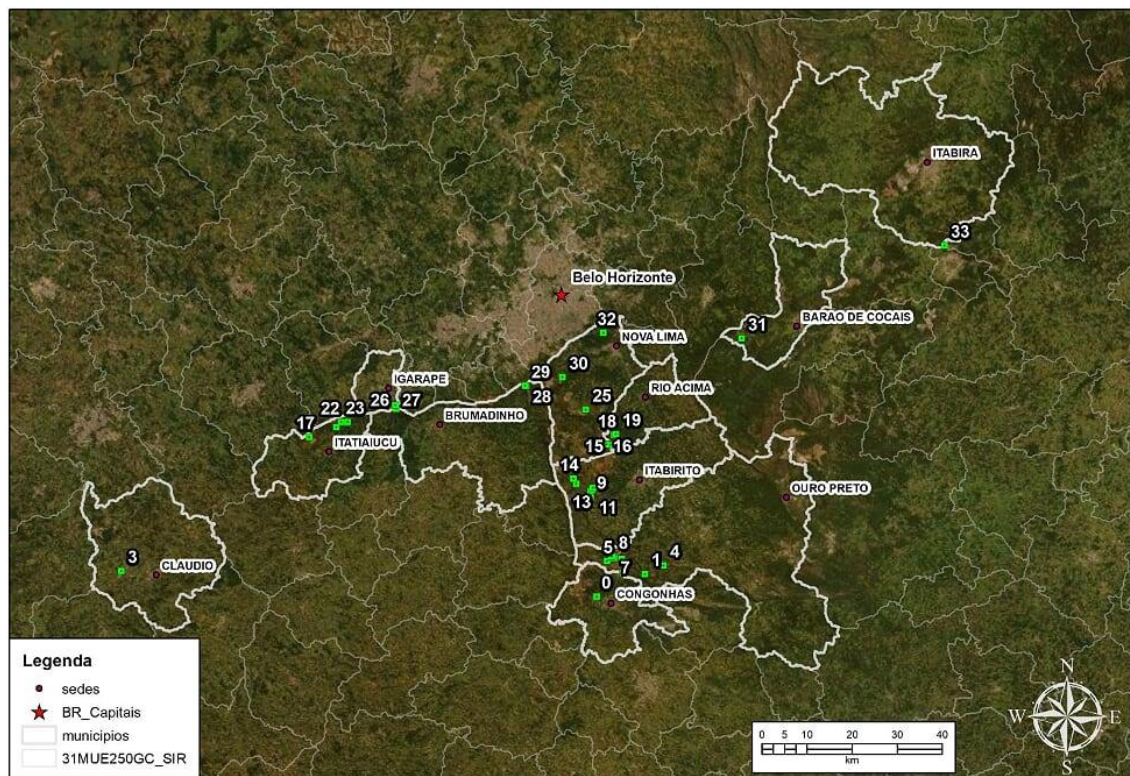
Entretanto, a depender da proximidade da barragem das atividades de lavra e da configuração do terreno, pode ser necessário paralisar as operações para ato de descomissionamento /

descaracterização. Em outros casos, ainda que não seja necessário interromper a operação minerária, será obrigatório remover e reassentar comunidades e estruturas. Este custo pode ser não desprezível, uma vez que algumas barragens possuem em sua ZAS algumas milhares de pessoas, o que pode impactar a viabilidade econômica do empreendimento.

Além disso, a implantação ou a utilização de outras estruturas para acondicionamento de rejeitos aumenta os custos de operação da mina. Como muitos empreendimentos em Minas Gerais trabalham com baixo teor de minério, em comparação com o minério explorado no Pará, e estão no fim de seu ciclo produtivo (Itabira, por exemplo) a viabilidade econômica destas minas parece ameaçada no médio prazo, durante o período determinado para descomissionamento. Até que ponto é rentável implantar uma nova tecnologia de disposição dos rejeitos, como por exemplo, a disposição a seco, em um empreendimento no fim de seu ciclo produtivo? Esta pergunta e também as incertezas sobre o impacto econômico dos descomissionamentos / descaracterização das barragens de rejeito sobre os empreendimentos minerários de minério de ferro, em Minas Gerais, são relevantes para o desenvolvimento local das províncias minerais do estado.

Esta tese adota como premissa que as operações de lavra com presença de barragem de rejeitos alteada a montante, desativada ou não, sofrerão paralisação das atividades, escalonada de acordo com volume da estrutura, como disciplina a Resolução nº 13 da ANM (BRASIL, 2019b). A Figura 23 apresenta as barragens a montante cadastradas no Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (ANM, 2020d), bem como os municípios onde elas estão instaladas.

Figura 23. Barragens alteadas a montante ou construídas por método desconhecido, Minas Gerais



Fonte: elaboração própria a partir de dados do SIGBM.

Para estimar os impactos do descomissionamento / descaracterização sobre a economia regional há ainda outra lacuna informacional: não há uma lista exaustiva contendo todas as minas de minério de ferro no estado e sua respectiva produção em milhões de toneladas / ano. Em especial, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) de Minas Gerais, órgão responsável pelo licenciamento ambiental dos projetos, não possui dados públicos que permitam consolidar uma caracterização completa dos empreendimentos licenciados em operação, contendo nome da mina, empresa, vida útil, capacidade produtiva, produção anual e outras informações. É possível consultar os processos de licenciamento³⁴, em cujos documentos pode-se encontrar dados como nome da mina, empresa, vida útil das reservas, capacidade produtiva, municípios em que o empreendimento está localizado e ano de operação. Entretanto, as informações ficam pulverizadas em milhares de documentos³⁵ apresentados pelas

³⁴ Os processos de licenciamento ambiental de empreendimentos minerais podem ser consultados no site do Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM). Entretanto, os documentos mais antigos não foram digitalizados. <http://www.siam.mg.gov.br/siam/processo/index.jsp>.

³⁵ Cada operação em uma mina precisa de um processo de licenciamento, que é agrupada no processo técnico da mina. Assim, há documentos tanto para abertura de lavra como, por exemplo, para expansão de uma lavra, instalação de unidade de tratamento de rejeito, construção de barragem ou desmatamento de área para construção de linhas de transmissão.

empresas no decorrer do processo, e, como certas modalidades de licenciamento tem prazo maior (a Licença de Operação tem validade máxima de 10 anos), essas informações podem estar desatualizadas. Em particular, a quantidade anual extraída que é declarada no licenciamento tende a ser uma estimativa superestimada e destoa do realizado pela empresa.

Por outro lado, em âmbito federal, o Sistema de Informações Geográficas da Mineração disponibiliza informações atualizadas diariamente relativas às áreas dos processos minerários cadastrados na Agência Nacional de Mineração. As informações são georreferenciadas, sendo possível acessar arquivo em *shapefile* com os limites e posição dos polígonos minerários e com dados do processo de lavra correspondente (nome da firma, fase do processo, substância e área). De acordo com essa fonte, há 280 processos minerários em fase de concessão de lavra que exploram minério de ferro no estado (ANM, 2020c). Entretanto, uma “mina” individual pode ser constituída por vários polígonos, não necessariamente adjacentes, o que inviabiliza utilizar as poligonais para identificar os empreendimentos minerários.

Por fim, quanto à produção anual, a relação mais desagregada disponível não chega ao nível das minas. De fato, este é um dado sigiloso. A Agência Nacional de Mineração disponibiliza banco de dados – Anuário Mineral Brasileiro³⁶ – informando produção, vendas, transferências, consumo e transformação dos minérios, por estado, para cada ano, desde 2010. Essas informações são obtidas pela agência a partir do Relatório Anual de Lavra (RAL), que é declarado pelo produtor. Por intermédio de solicitação no sistema Fala.Br³⁷, protocolo 00137.017487/2020-76, foi disponibilizado pela Agência Nacional de Mineração uma relação com a produção mineral bruta e beneficiada por município, de 2010 a 2018, sendo assim, o dado oficial mais desagregado. Entretanto, cabe lembrar que uma operação pode ocupar o espaço de mais de um município, bem como uma cidade pode conter mais de um empreendimento minerário, de modo que essa relação não permite identificar as operações de lavra.

Assim, dada essa limitação de dados, para construir uma caracterização da indústria extrativa mineral de ferro, em Minas Gerais, foi utilizado o relatório 600 Minas Brasileiras da revista Minérios & Mineráteis (2018), que traz os principais empreendimentos do setor, bem como estimativas da capacidade produtiva. Além desta fonte, foram utilizados relatórios das maiores

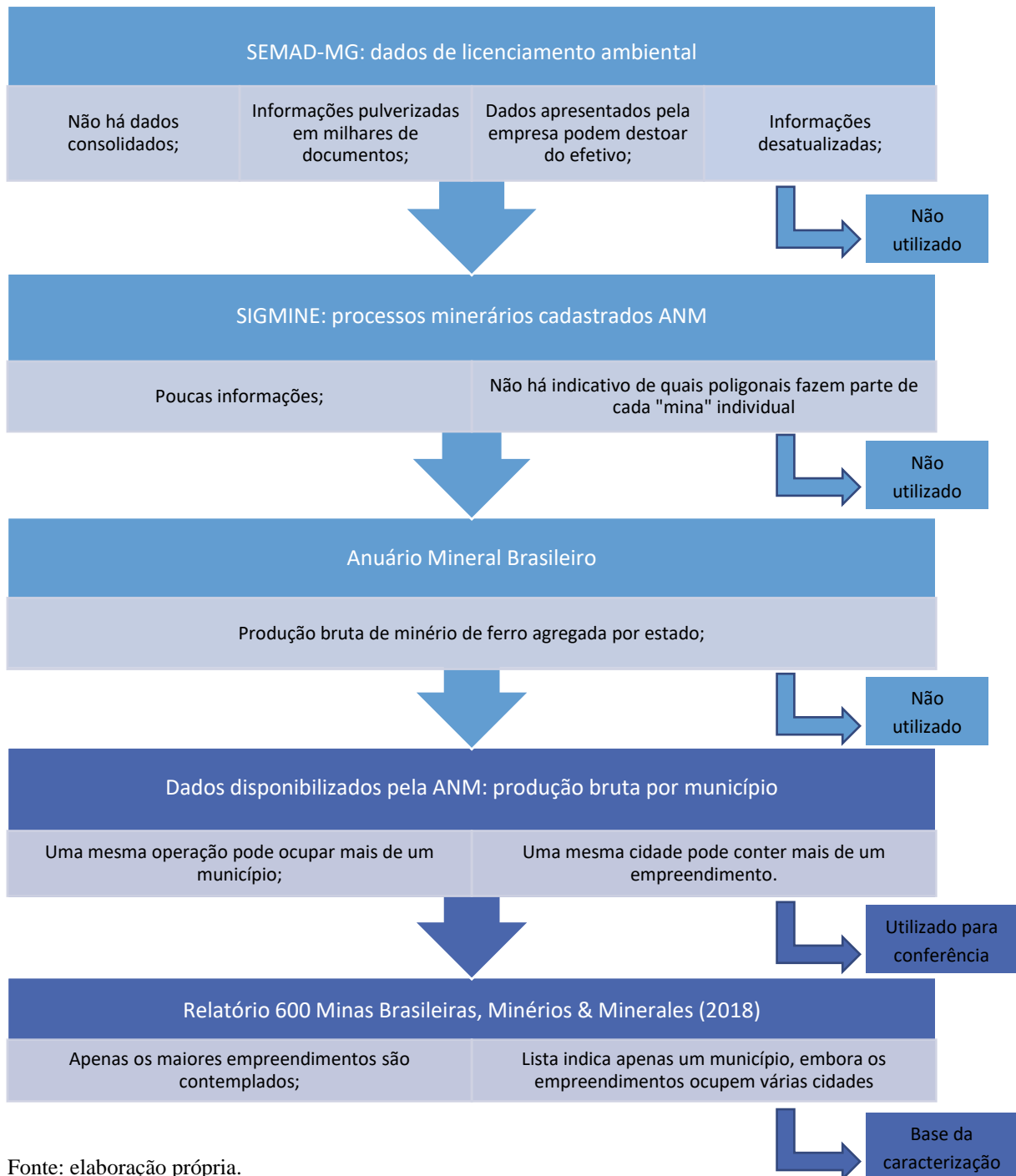
³⁶ A base de dados, que é atualizada diariamente, está disponível no sistema dados.gov.br, na seção da Agência Nacional de Mineração. <https://dados.gov.br/dataset/anuario-mineral-brasileiro-amb>.

³⁷ O sistema Fala.Br é uma plataforma de ouvidoria e acesso à informação vinculada à Controladoria Geral da União.

empresas de mineração (VALE, 2020a, b, c; ANGLOAMERICAN, 2020a, b; ARCELORMITTAL, 2020; CSN, 2020; MINERAÇÃO USIMINAS, 2020; GERDAU, 2020; VALLOUREC, 2020), dados de arrecadação da CFEM (ANM, 2020b) e os dados de produção bruta por município (ANM, 2020a). A caracterização pode ser conferida na primeira parte do Quadro 5.

É necessário reiterar que o recorte construído aqui, para Minas Gerais, é incompleto e pode ter incorreções, além de englobar apenas os maiores empreendimentos. Em geral, uma operação de lavra pode ocupar mais de um município, embora este trabalho considere estritamente o município indicado pelo relatório 600 Minas Brasileiras, já que não há informações públicas que possibilitem contabilizar o quanto de determinada mina é produzido em uma cidade ou em outra. O Fluxograma 1 sintetiza o esforço realizado de pesquisa nas fontes de dados mencionadas.

Fluxograma 1. Fontes pesquisadas e objeções



Há, porém, um segundo desafio envolvido na estimação da redução de produção decorrente do descomissionamento / descaracterização de barragens a montante, que consiste no fato de que não há relação dos empreendimentos associados a cada barragem cadastrada no SIGBM, não havendo, assim, informação oficial das operações de lavra que seriam afetadas. Não obstante, a partir de dados do relatório 600 Minas Brasileiras (MINÉRIOS & MINERALES, 2018), foi feita uma correspondência com a lista de barragens alteadas a montante ou por método

construtivo desconhecido, disponibilizada no Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (ANM, 2020d). O cruzamento foi feito analisando-se o nome da firma e a cidade em que a mina ou a barragem estava localizada. As barragens que foram identificadas como recebendo rejeitos dos empreendimentos listados na caracterização da indústria no estado podem ser conferidas na segunda parte do Quadro 5.

Ressalta-se que o cruzamento feito pode conter incorreções, visto que não há dados oficiais e a própria distribuição das plantas minerais no espaço é peculiar – uma mesma mina pode despejar rejeitos em mais de uma estrutura e uma mesma barragem pode servir a mais de uma lavra. Em especial, dificuldades surgem se uma mina despeja rejeitos em uma barragem localizada em outra microrregião, ou se a estrutura está em nome de outro empreendedor³⁸. Assim, foram identificadas 20 barragens a montante, como consta no Quadro 5, ao passo que Minas Gerais apresenta 39 estruturas de contenção de rejeitos da mineração do ferro que foram construídas por alteamento a montante ou método construtivo desconhecido (ANM, 2020d). Apesar das limitações, este é o *second best* em termos das informações disponíveis.

³⁸ O que pode ser comum no caso de empresas controladas por grupos empresariais, como a Ferrous (controlada pela Vale), ou a Ferro+ (do grupo J. Mendes).

Quadro 5. Maiores empreendimentos de minério de ferro em Minas Gerais e barragens associadas

Microrregião	Nome da Mina	Cidade	Mineradora	Estimativa de produção anual	Nome da barragem a montante associada	Cidade em que a barragem está localizada	Empresa responsável pela barragem	Volume de rejeitos (milhões m3)
Itabira³⁹	Andrade	Bela Vista de Minas	ArcelorMittal Mineração Brasil	1,5 Mt	Bacia 01	Bela Vista de Minas	ArcelorMittal Brasil S.A.	< 1
	Itabira	Itabira	Vale	41,7 Mt ¹	Ipoema	Itabira	Vale S.A. Filial: Vale Itabira	< 1
	Minas Centrais	São Gonçalo do Rio Abaixo	Vale	36 Mt ¹	Sul Superior	Barão de Cocais	Vale S.A. Filial: Vale Minas Centrais	6,0
Conselheiro Lafaiete⁴⁰	Casa de Pedra	Congonhas	Companhia Siderúrgia Nacional CSN	29,6 Mt ⁴	Barragem B4	Congonhas	Csn Mineração S.A.	13,0
	Mina Morro dos Coelhos	Desterro de Entre Rios	J. Mendes	136 kt				

³⁹ Do relatório de maiores arrecadadores da CFEM por empresa aparecem outros empreendimentos menores, sobre os quais maiores informações não foram encontradas e por isso não serão considerados nessa análise (ANM, 2020b).

⁴⁰ Não foram encontrados dados sobre as operações da Vale, Ferrous Resources do Brasil (adquirida pela Vale), Ferro+ Mineração e JMN Mineração (estas duas do grupo J. Mendes), que foram explicitados na lista de maiores arrecadadores da CFEM para essa microrregião (ANM, 2020b).

Quadro 5. Maiores empreendimentos de minério de ferro em Minas Gerais e barragens associadas (cont.)

Microrregião	Nome da Mina	Cidade	Mineradora	Estimativa de produção anual	Nome da barragem a montante associada	Cidade em que a barragem está localizada	Empresa responsável pela barragem	Volume de rejeitos (milhões m3)
Belo Horizonte ⁴¹	Pau Branco	Brumadinho	Vallourec	4,7 Mt ²				
	Posse	Caeté	Crusader do Brasil	588 kt				
	Vargem Grande	Nova Lima	Vale	21,4 Mt ¹	Fernandinho	Rio Acima	Vale S.A. Filial: Vale Vargem Grande	1,0
					Vargem Grande	Nova Lima	Vale S.A. Filial: Vale Vargem Grande	9,5
	Paraopeba	Nova Lima	Vale	27,3 Mt ¹	B3/B4	Nova Lima	Minerações Brasileiras Reunidas Sa Filial: Mbr Paraopeba	2,6
Conceição do Mato Dentro	Mina do Sapo	Conceição do Mato Dentro	Anglo American	3 Mt ³				

⁴¹ Por falta de maiores dados, não foram consideradas outras firmas que constam no relatório dos maiores arrecadadores da CFEM, como Itaminas Comércio de Minérios, Mineração COMISA, Extrativa Mineral e FERROMAR Indústria e Comércio (ANM, 2020b).

Quadro 5. Maiores empreendimentos de minério de ferro em Minas Gerais e barragens associadas (cont.)

Microrregião	Nome da Mina	Cidade	Mineradora	Estimativa de produção anual	Nome da barragem a montante associada	Cidade em que a barragem está localizada	Empresa responsável pela barragem	Volume de rejeitos (milhões m3)
Ouro Preto⁴² (continua)	Minas Itabirito	Itabirito	Vale	35,5 Mt ¹	Área IX	Ouro Preto	Vale Itabiritos	< 1
					Forquilha I	Ouro Preto	Vale S.A. Filial: Vale Itabiritos	12,7
					Forquilha II	Ouro Preto	Vale S.A. Filial: Vale Itabiritos	22,7
					Forquilha III	Ouro Preto	Vale S.A. Filial: Vale Itabiritos	19,4
					Grupo	Ouro Preto	Vale S.A. Filial: Vale Itabiritos	1,2
	Mariana (Alegria; Fábrica Nova e Fazendão)	Mariana	Vale	26,7 Mt ¹	Campo Grande	Mariana	Vale S.A. Filial: Vale Mariana	22,9
					ED Xingu	Mariana	Vale Mariana	6,1
					Doutor	Ouro Preto	Vale S.A. Filial: Vale Mariana	37,6
	Várzea do Lopes	Itabirito	Gerdau Açominas	6,1 Mt ⁵	Alemães	Ouro Preto	Gerdau Açominas S.A.	2,8
	Miguel Burnier	Ouro Preto	Gerdau Açominas					

⁴² Relatório dos maiores arrecadadores da CFEM aponta ainda presença de Mineração CONEMP, SAFM Mineração, Minérios Nacional e outras menores, mas nenhuma informação sobre essas operações foi encontrada (ANM, 2020b).

Quadro 5. Maiores empreendimentos de minério de ferro em Minas Gerais e barragens associadas (cont.)

Microrregião	Nome da Mina	Cidade	Mineradora	Estimativa de produção anual	Nome da barragem a montante associada	Cidade em que a barragem está localizada	Empresa responsável pela barragem	Volume de rejeitos (milhões m ³)
Ouro Preto (continuação)	Herculano	Itabirito	Herculano	4,8 Mt	Barragem B1	Itabirito	Herculano Mineração Ltda.	4,1
	Ferro +	Ouro Preto	J. Mendes	4,6 Mt				
Itaguara⁴³	Oeste	Itatiaiuçu	Mineração Usiminas	5,6 Mt	Barragem Central	Itatiaiuçu	Mineração Usiminas S.A.	3,8
	Central	Itatiaiuçu	Mineração Usiminas	2,3 Mt	Barragem Mina Oeste (Somisa)	Itatiaiuçu	Mineração Usiminas S.A.	12,5
	Serra Azul	Itatiaiuçu	ArcelorMittal Mineração Serra Azul	1,3 Mt ⁶	Barragem de Rejeitos	Itatiaiuçu	ArcelorMittal Brasil S.A.	5,2

Fonte: Minérios & Minerales (2018), Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (ANM, 2020d).

1. Vale (2019a, p. 39).
2. Vallourec (2020, p. 48).
3. AngloAmerican (2020a, p. 32).
4. Companhia Siderúrgica Nacional (2020, p. 25).
5. Gerdau Açominas (2020, p. 36).
6. ArcelorMittal (2020, p. 25).

⁴³ Empreendimentos da Minerita Minérios Itaúna, Ferrous Resources e outras menores, que constavam na lista de maiores arrecadadores da CFEM, foram desprezados por não haver maiores informações (ANM, 2020b). Consta no relatório de maiores arrecadadores da CFEM uma operação da CSN em Belo Vale, mas provavelmente trata-se de parte da extração da Mina Casa de Pedra.

A microrregião de Itabira engloba a Mina Andrade (ArcelorMittal), o Complexo Itabira e o Complexo Minas Centrais (Vale e filial Baovale Mineração). Para a micro de Belo Horizonte, foram identificados o Complexo Paraopeba e o Complexo Vargem Grande da Vale (e filial Minerações Brasileiras Reunidas). Relatório das maiores minas indica ainda lavras desenvolvidas pela Vallourec em Brumadinho e pela Crusader do Brasil em Caeté (MINÉRIOS & MINERALES, 2018). Em Conceição do Mato Dentro, a lista de 600 minas brasileiras (MINÉRIOS & MINERALES, 2018) e o relatório dos maiores arrecadadores da CFEM (ANM, 2020b) apontam uma única operação na microrregião, a Mina do Sapo da AngloAmerican. Já no que se refere à micro de Conselheiro Lafaiete, são consideradas apenas a mina Casa de Pedra (Companhia Siderúrgica Nacional), em Congonhas, e Mina Morro dos Coelhos (J.Mendes), em Desterro de Entre Rios. Em Ouro Preto, são contempladas a mina Várzea do Lopes e Miguel Burnier (Gerdau Açominas), o Complexo Mariana (Vale e Minerações Brasileiras Reunidas), Herculano Mineração e Ferro+ (J.Mendes). O Complexo Minas Itabirito da Vale também está presente em Ouro Preto, mas a Vale empreendeu uma reconfiguração do Sistema Sul e as minas passaram para outros complexos, não havendo, assim, informações de produção deste complexo em 2019 (VALE, 2020a, p. 48). Por fim, são consideradas na microrregião de Itaguara, a Mina Oeste, Mina Central (Mineração Usiminas) e Mina Serra Azul (ArcelorMittal).

Já no que diz respeito às operações da Vale no Pará, a configuração da indústria extrativa mineral do minério de ferro é mais simples, uma vez que se concentra na microrregião de Parauapebas. É onde está localizado o Sistema Norte da Vale, que engloba a Serra Norte e Leste e a Serra Sul. Nesta última, está o Complexo minerário S11D, maior província minerária da Vale. Para fins de comparação, em 2018, a produção somada dos Sistemas Sul e Sudeste (Minas Gerais) totalizou 188,5 Mt, enquanto o Sistema Norte foi responsável por 193,6 Mt. Em 2019, a quantidade produzida nos Sistemas Sul e Sudeste montou a 110,9 Mt, enquanto no Sistema Norte foi 188,7 Mt (VALE, 2020a, p. 49).

Com tal quadro esquemático da configuração da indústria extrativa mineral do ferro no estado, foi possível simular choques na produção de minério de ferro das microrregiões minerárias. Tais choques tomariam curso no período de 2016 a 2050 e incluem os seguintes eventos:

- redução da produção em Mariana, em função do rompimento da Barragem do Fundão (2016);
- redução da produção em função do rompimento da Barragem do Feijão em Brumadinho

(2019) e paralisação das atividades nos complexos minerários com barragens de rejeito construídas à montante entre 2019 e 2027;

- paralisação da produção da Mina de Brucutu em 2019 (determinada pelo Tribunal de Justiça de Minas Gerais); e
- aumento da produção na região de Parauapebas, em virtude da operação do complexo S11D, no sudeste do Pará.

Para o período de 2016 a 2018, os choques correspondem à variação percentual observada na produção bruta de minério de ferro para cada microrregião, baseada em dados fornecidos pela ANM (2020a). A Tabela 18 aponta a diferença entre a produção por empresa, como construído na caracterização da indústria extrativa mineral de Minas Gerais, e a produção bruta observada em 2018, extraída de ANM (2020a), para as microrregiões minerárias.

Tabela 18. Diferença estimativas de produção de minério de ferro por microrregião mineira

Microrregião	Produção (Minérios & Minerales, 2018)	Produção bruta, 2018 (ANM, 2020a)
Itabira	79,2 Mt	79,2 Mt
Belo Horizonte	54,0 Mt	59,4 Mt
Conceição do Mato Dentro⁴⁴	3,4 Mt	3,4 Mt
Conselheiro Lafaiete	29,7 Mt	31,4 Mt
Ouro Preto	77,8 Mt	68,5 Mt
Itaguara	9,1 Mt	8,7 Mt

Fonte: Minérios & Minerales (2018), Agência Nacional da Mineração (2020a).

Para 2019, foram coletadas informações da variação de produção nos seguintes empreendimentos:

- Complexos Itabira e Minas Centrais, da Vale (2020a, p. 49), na micro de Itabira;
- Paraopeba e Vargem Grande, da Vale (2020a, p. 49), e Mina de Pau Branco, da Vallourec (2020, p. 48), na microrregião de Belo Horizonte;
- Mina do Sapo, da AngloAmerican (2020a, p. 32), na micro de Conceição do Mato

⁴⁴ Em 2018, a produção da micro de Conceição do Mato Dentro foi 3,3 Mt, mas em 2017 foi 16 Mt e se prevê, em 2019, 23 Mt (ANGLOAMERICAN, 2020a, p. 32). Como computar uma variação nessa magnitude elevaria em muito os erros de linearização do modelo, consideramos que a microrregião produziu o valor médio do contado entre 2017 e 2019, isto é, 19,8 Mt.

Dentro;

- Mina Casa de Pedra, da Companhia Siderúrgica Nacional (2020, p. 25), na microrregião de Conselheiro Lafaiete;
- Complexo Mariana, da Vale (2020a, p. 49), na microrregião de Ouro Preto;
- Minas Oeste e Central, da Mineração Usiminas (2020), e Mina Serra Azul, da ArcelorMittal (2020, p. 25), na micro de Itaguara;
- Serra Norte, Serra Leste e Serra Sul (S11D), da Vale (2020a, p. 49), na microrregião de Parauapebas, Pará.

O caso de Belo Horizonte é problemático, porque a Vale reconfigurou os complexos dos Sistemas Sul, de modo que as minas pertencentes ao Complexo Minas Itabirito, do município de Itabirito (microrregião de Ouro Preto), foram remanejadas para os Complexos Vargem Grande e Paraopeba, da micro de Belo Horizonte. Na prática, isso afeta o trabalho no que diz respeito à variação na produção em 2019 para as duas microrregiões. A Tabela 19 indica a produção de 2018 e 2019 nas duas regionalizações da empresa.

Tabela 19. Regionalização das operações da Vale em Minas Gerais

Sistema	Complexo	Produção 2019 (Mt)	Produção 2018 (Mt)	Minas
Sudeste (mantém-se nas duas regionalizações)	Itabira	35,9	41,7	Minas Conceição Minas do Meio Brucutu
	Minas Centrais	25,9	36,0	Mina Morro Agudo Alegria
	Mariana	11,3	26,7	Fábrica Nova Fazendão
				Minas de Sapecado** Galinheiro**
Sul (regionalização atual)	Vargem Grande	13,1	43,1	Tamanduá Capitão do Mato Abóboras
				Mina João Pereira** Mina do Segredo**
	Paraopeba	24,7	41,0	Mina Mar Azul Capão Xavier
				Sapecado** Galinheiro** João Pereira** Segredo**
Sul (regionalização vigente até 2019)	Minas Itabirito	*	35,5	Tamanduá
	Vargem Grande	*	21,4	Capitão do Mato Abóboras Minas de Jangada Córrego do Feijão
	Paraopeba	*	27,3	Mar Azul Capão Xavier
				Projeto de Capim Branco

Fonte: Vale (2019a, p. 39; 2020a, p. 49). * Sem informações, por causa da nova regionalização. ** Minas que foram remanejadas entre os complexos.

Como se depreende da Tabela 19, Vargem Grande e Paraopeba produziram, na configuração antiga, 48,7 Mt em 2018, mas a incorporação das minas do Complexo Minas Itabirito com a nova regionalização levou esse valor a 84,1 Mt. Entre 2018 e 2019, os dois complexos verificaram redução de 46,3 Mt. Este valor inclui a variação de Minas Itabirito, de Ouro Preto. Como não há informações para este complexo em 2019, dividimos essa retração igualmente entre as microrregiões de Belo Horizonte e Ouro Preto para o ano em questão.

Segue-se uma descrição dos choques na produção de minério de ferro computados nas microrregiões entre 2020 e 2050.

Em Itabira, é contabilizado em 2020 a interrupção dos trabalhos na Mina de Brucutu, paralisada desde dezembro de 2019, com redução de 18 Mt de produção (VALE, 2020a, p. 8). Além disso, entre 2020 e 2022 é contabilizado a interrupção da Mina de Andrade, da ArcelorMittal, com retração de 1,5 Mt, em decorrência do descomissionamento / descaracterização da barragem a montante. Na região Itabira, há a redução percentual constante da produção entre os anos de 2020 a 2029, de maneira que neste último ano exista apenas 30 Mt / ano, em função da operação da Mina de Brucutu (Minas Centrais), que tem maior vida útil (VALE, 2020a, p. 81). A partir do ano de 2030, os choques simulam uma estabilização do nível produtivo.

Na microrregião de Belo Horizonte, considera-se, de 2020 a 2022, o descomissionamento / descaracterização dos Complexos de Paraopeba e Vargem Grande, ambos com barragens a montante com volume inferior a 12mi / m³, e a ampliação da Mina de Pau Branco da Vallourec (2020, p. 48). Como a capacidade produtiva dos dois empreendimentos da Vale responde por 92% da produção de minério de ferro da região de Belo Horizonte, então restaria apenas 8% da capacidade produtiva verificada em 2018, ajustada pela ampliação da Mina de Pau Branco. Depois disso, a partir de 2023, a produção estabiliza.

Em Conceição do Mato Dentro, os choques coincidem com as projeções de produção estabelecidas pela AngloAmerican (2020a, p. 32) para 2020, 2021 e 2022. Como o empreendimento não apresenta barragem a montante e como a vida útil é 52 anos, consideramos que a quantidade produzida se estabiliza no mesmo nível a partir de 2023 (ANGLOAMERICAN, 2020b, p. 26).

Na microrregião de Conselheiro Lafaiete, a mina Casa de Pedra será descomissionada / descaracterizada de 2020 a 2025, já que consta na operação mineral barragem de rejeitos a montante com volume superior a 12 milhões m³. Isso significa redução, até 2025, de 34,9 Mt, que foi a produção verificada em 2019 (CSN, 2020, p. 25). A partir de 2025, portanto, não haveria produção de minério de ferro nesta região.

Já na região de Ouro Preto, é computado o descomissionamento / descaracterização da Mina Várzea de Lopes e Herculano até 2022, somando redução de 10,9 Mt (GERDAU, 2020, p. 36; MINÉRIOS & MINERALES, 2018). É contabilizado ainda o descomissionamento / descaracterização, até 2027, do Complexo Mariana da Vale, que possui barragem de rejeitos

com volume superior a 22 milhões de m³. Isso significaria redução de 11,3Mt, que foi a quantidade produzida em 2019 (VALE, 2020a, p. 49). Por fim, supõe-se o descomissionamento / descaracterização das três minas de Itaguara até 2022 (Mina Oeste, Central e Serra Azul), porque todas possuem barragem de rejeitos a montante, com volume inferior a 12 milhões m³. Isso corresponderia a zerar a produção até 2022.

Na região de Parauapebas, em 2020, é computada a produção dos três primeiros trimestres, sendo que no quarto supõe-se a continuação do resultado do 3T, de modo que há acréscimo de 6 Mt (VALE, 2020b, p. 7). Entre 2021 e 2029, os choques consideram a compensação da retração da quantidade produzida nos Sistemas Sul e Sudeste da Vale, decorrente do descomissionamento / descaracterização de barragens ou, no caso de Itabira, do esgotamento das reservas. Em 2023, é mensurado o aumento de 20Mt em decorrência do *start-up*, em 2022, dos projetos Gelado e Sistema Norte 240 (VALE, 2020b, p. 7). Em 2024, é contabilizado aumento de 10 Mt na capacidade produtiva das operações na Serra Leste, como indicado no relatório de Vale (2020b, p. 7). Por fim, em 2025, é considerado aumento de 20 Mt em decorrência do *start-up* do projeto Serra Sul 120 em 2024 (VALE, 2020b, p. 7; VALE, 2020c).

A síntese desses eventos pode ser conferida no Fluxograma 2, exibido a seguir.

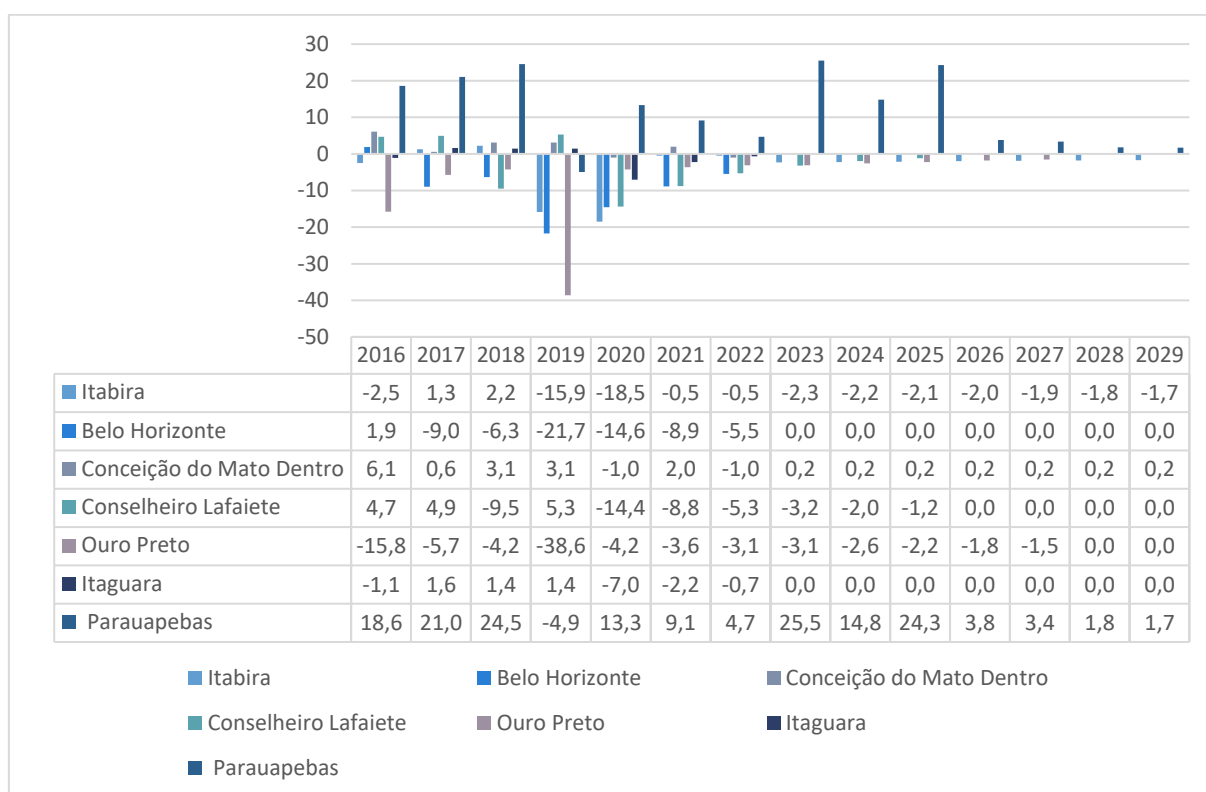
Fluxograma 2. Síntese eventos e cenários de produção de minério de ferro no Brasil, 2016 a 2050



Fonte: elaboração própria.

O Gráfico 13 exibe as projeções de produção de minério de ferro, em milhões de toneladas, ano a ano, a partir dos eventos e cenários coletados. Ou seja, são os incrementos, ou quedas, de produção mineral em cada ano e região. A partir de 2030, a produção se estabilizaria com a entrada/saída das operações minerárias analisadas. O Anexo 02 apresenta de forma detalhada o cálculo das taxas de variação introduzidas como choques no modelo.

Gráfico 13. Variações na produção anual de minério de ferro (milhões de toneladas), 2016 a 2029



Fonte: elaboração própria.

O Gráfico 13 denota que as regiões de Conselheiro Lafaiete, Itaguara e Ouro Preto seriam as mais impactadas no corte de produção, em função dos choques estabelecidos (redução de 90% em relação a 2015), o que implicaria redução no nível de emprego, geração de renda e atividade econômica em geral. Itabira apresenta redução acumulada de 60% na produção de ferro. A microrregião de Belo Horizonte também sofreria uma grande diminuição na quantidade produtiva (cerca de 88% tomando como base 2015). Por fim, espera-se que Conceição do Mato Dentro não tenha impacto significativo, uma vez que não há previsão de descomissionamentos / descaracterizações na região. Parauapebas absorveria parte da produção por minério de ferro brasileiro, em função dos já anunciados projetos de expansão e implantação de novos

empreendimentos na região sudoeste do Pará.

5.3. Fechamento do modelo

O conjunto de variáveis exógenas e endógenas definido nas simulações representa as hipóteses sobre o funcionamento da economia. Essa escolha é conhecida como fechamento do modelo. O fechamento de um modelo de equilíbrio geral impõe ao mesmo o caráter teórico que se pretende para determinada economia. As variáveis exógenas são aquelas sujeitas a choques, enquanto as variáveis endógenas são as calculadas pelo próprio modelo.

No fechamento do cenário de referência, a configuração das variáveis foi orientada para simular o comportamento da economia de acordo com as médias históricas e projetadas no período simulado, de 2016 a 2050. O cenário base se assenta num crescimento médio da economia de 2% entre 2020 e 2050.

No cenário de política, a escolha das variáveis exógenas e endógenas foi realizada de modo a permitir a simular a desaceleração da atividade minerária em Minas Gerais, e o crescimento no Pará, a partir das variações de produção do setor em cada microrregião do modelo. Os choques simulados foram implementados sobre a variável de produção do setor extrativo de minério de ferro, para cada microrregião do modelo, conforme reportado no Gráfico 13.

Em linhas gerais, as hipóteses quanto ao funcionamento da economia no modelo são estabelecidas no fechamento. O Quadro 6 apresenta a descrição das variáveis utilizadas nos fechamentos de cenário de referência e cenários de desaceleração da atividade minerária.

Quadro 6. Descrição das variáveis utilizadas para o fechamento do modelo

Variável Exógena	Dimensão	Descrição
PIB real (lado da oferta)		
acap	IND*DST	Mudança tecnológica do capital
aint_d	COM*IND	Mudança tecnológica de bens intermediários por região
alnd	IND*DST	Mudança tecnológica da terra
aprimtot	1	Mudança tecnológica genérica de fatores primários
aprim_i	DST	Mudança tecnológica individual de fatores primários
atot	IND*DST	Mudança tecnológica genérica
atradmar_cs	MAR*ORG*DST	Mudança tecnológica de margens
bint_scd	IND	Mudança tecnológica de bens intermediários
blab_o	IND*DST	Mudança tecnológica do fator trabalho por ocupação
blab_oid	1	Mudança tecnológica do fator trabalho genérica
frnorm	IND*DST	Deslocamento da taxa de retorno normal bruta (regional)
frnorm_id	1	Deslocamento da taxa de retorno normal bruta (nacional)
labslack	1	Variável que permite o ajuste no emprego agregado
gtrend	IND*DST	Razão tendencial do investimento sobre o capital (regional)
NatMacro ("AggEmploy")	1	Emprego Agregado Nacional
xcap	IND*DST	Dotação do capital por setor
xlnd	IND*DST	Dotação da terra por setor
twistsrc	Sourcing	Substituição de origem (k) para bens (i,s)

Fonte: elaboração própria.

Quadro 6. Descrição das variáveis utilizadas para o fechamento do modelo (cont.)

PIB real (lado da demanda)		
fhou	DST	Propensão Regional ao Consumo dado a Renda
xhoutot	DST	Consumo total das famílias
fgovgen	1	Deslocamento da demanda do governo (nacional)
fgovtot	DST	Deslocamento da demanda do governo (regional)
fgov_s	COM*DST	Deslocamento da demanda do governo por produto (regional)
natfhou	1	Participação do consumo das famílias no PIB Real
flab_io	DST	Deslocamento do salário (regional)
flab_iod	1	Deslocamento do salário (nacional)
invslack	1	Variável que permite exogeneizar o investimento nacional
houslack	1	Variável que permite ajuste no consumo das famílias nacional
NatMacro ("RealHou")	1	Consumo Real das Famílias (apenas no cenário base)
NatMacro ("RealGov")	1	Consumo do Governo (apenas no cenário base)
NatMacro ("RealInv")	1	Investimento Real (apenas no cenário base)
NatMacro ("ExpVol")	1	Volume de Exportações
NatMacro ("RealGDP")	1	PIB Real (apenas no cenário base)
Condições Externas		
fpexp	COM*SRC	Deslocamento dos preços das exportações
fqexp	COM*SRC	Deslocamento das quantidades exportadas
fqexp_cs	1	Deslocamento geral das quantidades exportadas
pfimp	COM*ORG	Preço dos importados em moeda estrangeira
Impostos		
delPTXRATE	IND*DST	Mudança na taxa do imposto sobre a produção

Fonte: elaboração própria.

Quadro 6. Descrição das variáveis utilizadas para o fechamento do modelo (cont.)

Distribuição dos Investimentos		
finv1	IND*DST	Deslocamento do Investimento
finv4	IND*DST	Deslocamento do Investimento de Longo Prazo
faccum	IND*DST	Deslocamento que ativa a equação de acumulação de capital
delUnity	1	Dummy = 1 para ativar equação de acumulação de capital
Número de Famílias		
nhou	DST	Número de famílias
Numerário		
phi	1	Taxa de câmbio

Fonte: elaboração própria.

5.4. Resultados da Desaceleração do Setor Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro em Minas Gerais

Nesta seção, são analisados os impactos da desaceleração do setor extrativo de minério de ferro na economia mineira. Os impactos representam a diferença entre as variações obtidas com cenário base e as variações do cenário com os choques de produção. Os resultados devem ser lidos, então, como desvios em relação a uma trajetória da economia brasileira (cenário base) na qual a desaceleração do setor, em Minas Gerais, não ocorresse. Cabe mencionar que, como o consumo do governo é considerado exógeno, não é incorporada no modelo eventual redução no dispêndio público em resposta ao decréscimo na arrecadação da CFEM, de modo que os valores estimados de retração da atividade econômica podem ser inferiores ao que seria no caso de se realizar tais choques de produção.

A variação, em relação ao cenário base, dos principais agregados macroeconômicos, ocasionada em função da aplicação dos choques descritos no Fluxograma 2, é detalhada na Tabela 20. Em termos macroeconômicos, a redução da produção de minério de ferro, em Minas Gerais, ocasionaria redução do PIB real, uma vez que levaria à redução das exportações líquidas regionais e do investimento. A diminuição cumulativa do investimento agregado ocasionaria redução do estoque de capital das economias regionais. Por sua vez, a redução do PIB real e da renda teria impacto sobre o consumo das famílias. Os resultados apontam, ainda, efeitos de deslocamento de empregos para outras regiões do estado e do país.

Desta forma, as regiões de Minas Gerais que passariam por redução significativa da produção de minério de ferro (Ouro Preto, Itaguara, Conselheiro Lafaiete e Itabira) apresentariam diminuição do crescimento econômico regional, em consonância com os resultados encontrados por Domingues *et al.* (2020) para o estado. Cabe ressaltar a retração das exportações, que é um efeito esperado da contração de uma atividade altamente exportadora como a mineração do ferro e que encontra correspondência nas simulações de Lofgreen, Robinson & Thurlow (2002), executadas para outras regiões. A Região Metropolitana de Belo Horizonte, apesar de absorver alta redução da produção de minério de ferro, não seria impactada de forma expressiva. Isto, pois, trata-se de uma região diversificada e complexa, composta por outras cadeias produtivas com potencial de absorver os fatores de produção não mais utilizados pela mineração, que, de fato, significa parcela pequena do PIB regional. Como se verificou na seção 4.7, é o território com maior índice de diversificação econômica. A região de Conceição do Mato Dentro apresentaria crescimento econômico em relação ao cenário base. Esse resultado é esperado, dado que esta é a única região minerária de Minas Gerais não afetada pelos descomissionamentos / descaracterizações e que há ainda protocolados processos de expansão de grande porte da planta minerária já em operação. A região mineradora do Pará, Parauapebas, apresenta resultados positivos nesses indicadores, evidenciando forte expansão econômica. As demais regiões do modelo (Resto de MG, Resto do PA, MA, ES, SP e Resto do Brasil) apresentariam queda mais suave do PIB ao longo do período analisado. Apesar do baixo encadeamento produtivo da atividade minerária do minério de ferro, os resultados indicam efeitos negativos importantes sobre outros estados, tal como, o Espírito Santo, notadamente sobre as exportações do estado, e mesmo São Paulo, dadas as interações setoriais da cadeia produtiva.

Tabela 20. Resultados macroeconômicos do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, desvio acumulado (%) em 2050 em relação ao cenário base

Regiões	PIB real	Consumo das Famílias	Investimento	Exportações	Importações	Emprego	Estoque Agregado de Capital
Conceição do Mato Dentro	4,58	21,26	46,08	-2,36	56,06	21,88	73,13
Belo Horizonte	-7,50	-4,59	-9,44	0,44	-6,79	-4,11	-5,10
Itabira	-56,14	-20,52	-46,23	-4,61	-34,92	-20,12	-35,76
Itaguara	-67,40	-25,82	-66,14	-6,45	-36,57	-25,44	-17,25
Ouro Preto	-85,73	-42,45	-79,93	-6,30	-68,97	-42,15	-46,00
Conselheiro Lafaiete	-61,27	-25,16	-61,16	-6,78	-38,83	-24,77	-20,65
Resto de Minas	-1,50	-1,88	-2,20	-1,31	-1,80	-1,37	-1,49
Parauapebas	70,53	46,95	84,34	-0,22	77,10	47,70	89,73
Resto do Pará	0,17	-0,32	0,28	0,15	0,05	0,19	0,30
MA	-0,05	-0,51	-0,07	-3,54	-0,14	0,00	0,03
ES	-2,22	-2,61	-3,04	-27,12	-2,48	-2,11	-2,22
SP	-1,32	-1,75	-1,86	0,20	-1,54	-1,25	-1,28
Resto do Brasil	-0,86	-1,24	-1,29	-1,70	-1,12	-0,74	-0,90
Total de Minas	-7,85	-3,51	-10,66	0,22	-6,70	-3,66	-5,82
Total do Brasil	-1,55	-1,55	-1,90	-3,13	-1,54	-1,07	-0,70

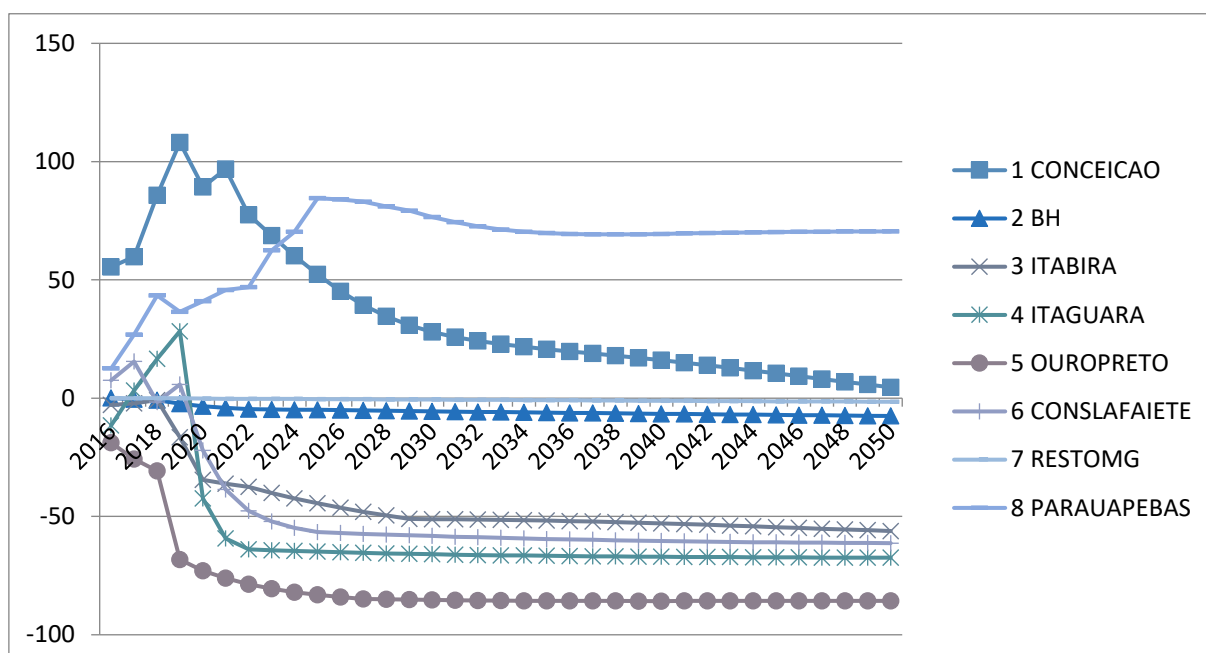
Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

Ainda que os resultados apresentados na Tabela 20 denotem a queda de crescimento econômico para a maioria das regiões do modelo, cabe ressaltar resultados de crescimento do PIB real regional para Conceição do Mato Dentro e Parauapebas, em razão da expansão da atividade nestas regiões. Esses resultados também foram encontrados por Simonato (2016), indicando uma reconfiguração setorial da produção de ferro.

O Gráfico 14 apresenta o desvio acumulado do PIB real, em relação ao cenário base, entre os anos de 2016 a 2050, para as regiões minerárias do minério de ferro de Minas Gerais e Pará. É notável o crescimento da região de Parauapebas, que acumularia, entre os anos de 2016 a 2050, expansão de 70,53% do PIB em relação ao cenário de referência. Conceição do Mato Dentro apresentaria crescimento do PIB, quando comparada ao *baseline*, mas a diferença, que é grande

no início em decorrência da expansão projetada da produção de minério de ferro nos próximos anos, diminui ao longo do período, quando se assume a hipótese de estabilização da produção. A microrregião de Belo Horizonte cresceria menos no cenário de retração minerária do que no *baseline*, mas a retração é menos acentuada, devido a menor dependência em relação ao setor indústria extrativa mineral do minério de ferro. Em relação às demais microrregiões mineiras produtoras de ferro, apesar do crescimento do PIB de Itaguara e Conselheiro Lafaiete, em relação ao cenário base, nos anos que antecederam 2020, verifica-se a partir daí forte diminuição da renda, comparada com o cenário de referência, com destaque para Ouro Preto.

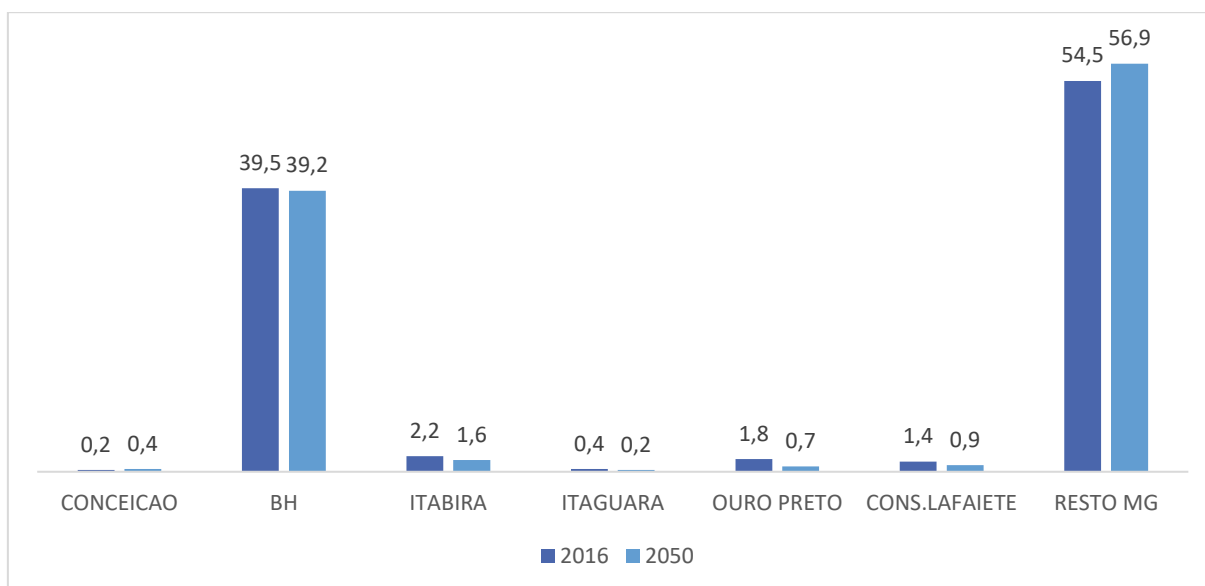
Gráfico 14. PIB real das microrregiões de Minas Gerais e Parauapebas, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, desvio acumulado (%) em relação ao cenário base, 2016 a 2050



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

O Gráfico 15 apresenta a mudança de participação no PIB estadual de Minas Gerais para cada região do estado, entre os anos de 2016 a 2050. Em compensação à queda da participação das microrregiões de Belo Horizonte, Itabira, Itaguara, Ouro Preto e Conselheiro Lafaiete no PIB estadual, o Resto de Minas Gerais apresentaria aumento da participação relativa, denotando absorção dos fatores de produção disponíveis, em função da redução da atividade de mineração de minério de ferro. Destaca-se que as regiões de Ouro Preto e Itaguara perderiam mais da metade de sua participação no PIB estadual. Conceição do Mato Dentro, por outro lado, expandiria sua presença no PIB de Minas Gerais. O estado de MG sairia de 9,25% do PIB nacional em 2016 para 8,83% em 2050.

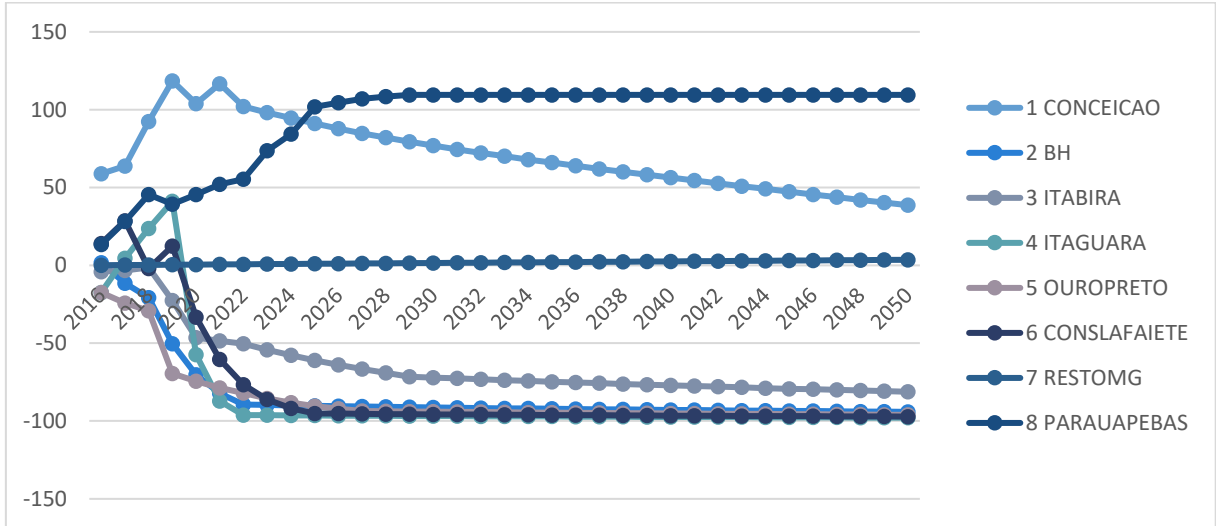
Gráfico 15. Participação (%) de cada região no PIB estadual, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, 2016 a 2050



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

O Gráfico 16 demonstra o desvio acumulado da produção de minério de ferro das regiões de Minas Gerais e do Pará, entre os anos 2016 e 2050, em relação ao *baseline*. De acordo com os choques estabelecidos de produção, a região de Parauapebas acumularia aumento de 109%, com relação ao cenário base. A região de Conceição do Mato Dentro, por sua vez, registraria produção 39% maior, ao passo que o Resto de Minas, 4%. Sobre esta última, cabe destacar que esse crescimento acumulado é pouco relevante, dada a baixa participação relativa da região na produção de minério de ferro nacional. As demais microrregiões minerárias do estado apresentariam, em relação ao cenário de referência, decréscimo acumulado da produção de minério de ferro (Belo Horizonte, -94%, Itabira, -81%, Itaguara, -98%, Ouro preto, -96%, e Conselheiro Lafaiete, -97%).

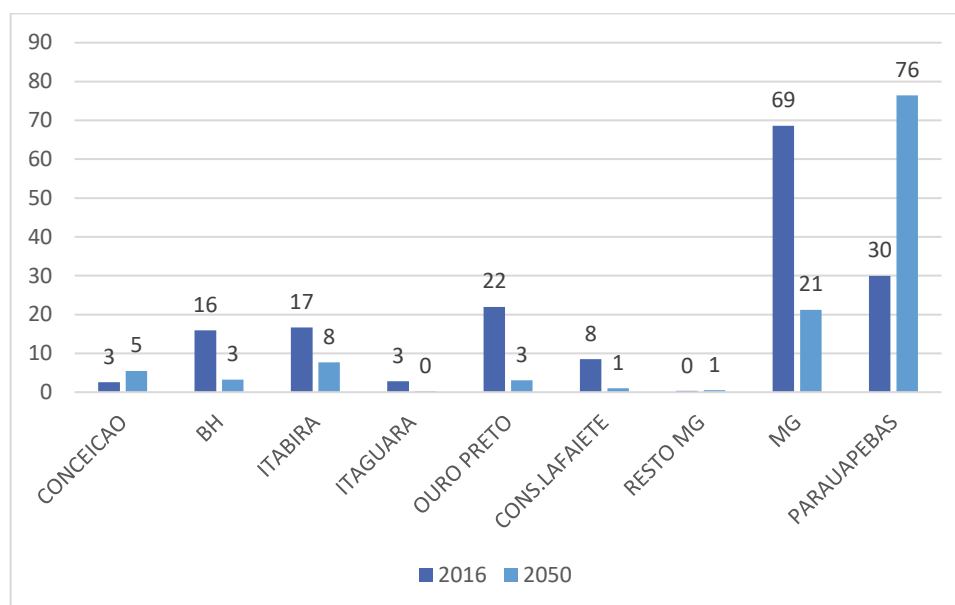
Gráfico 16. Produção de minério de ferro das microrregiões de Minas Gerais e Parauapebas, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, desvio acumulado (%) em relação ao cenário base, 2016 a 2050



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

As simulações realizadas permitem, ainda, visualizar qual seria a composição do mercado produtor de minério de ferro no Brasil, em 2050, como mostrado no Gráfico 17. Haveria inversão do eixo produtivo rumo ao estado do Pará, em detrimento de Minas Gerais. Em 2050, a região de Parauapebas deteria 76% da produção nacional de minério de ferro e Minas Gerais, 21%. A variação é sintetizada na Figura 24.

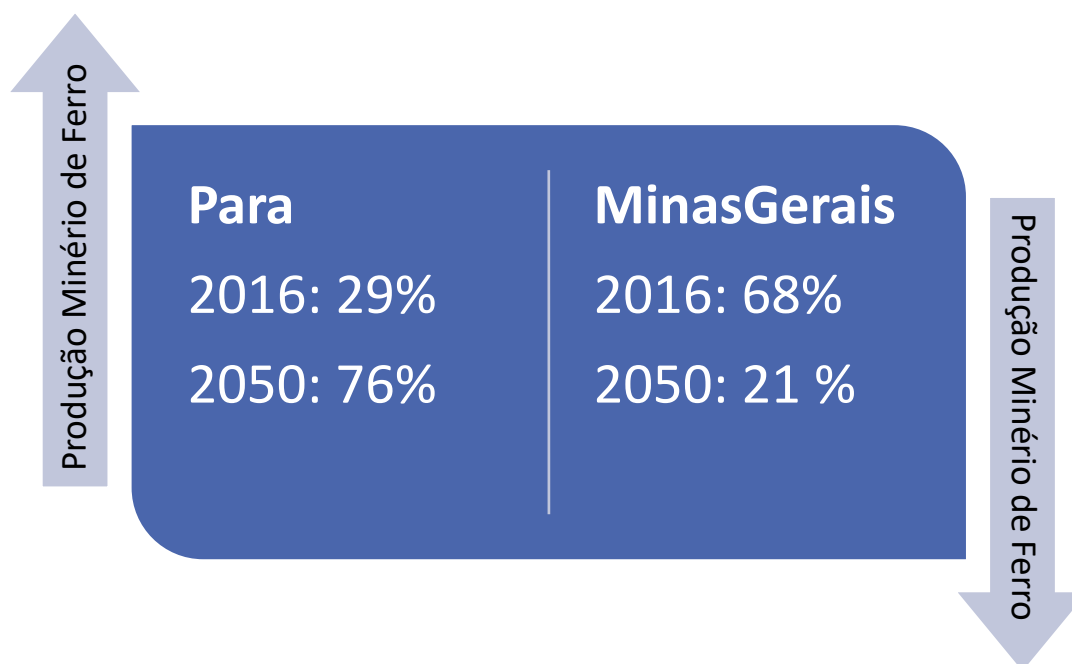
Gráfico 17. Participação regional (%) na produção de minério de ferro, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, 2016 a 2050



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

Dentro de Minas Gerais, também haveria uma recomposição das participações. A região de Conceição do Mato Dentro passaria a representar 5% da produção regional. Esse montante estaria associado a ganhos absolutos e relativos, uma vez que tanto a região passaria por aumento absoluto de sua produção, quanto as demais regiões minerárias estaduais sofreriam reduções produtivas em seus territórios.

Figura 24. Distribuição da produção de minério de ferro, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, 2016 a 2050



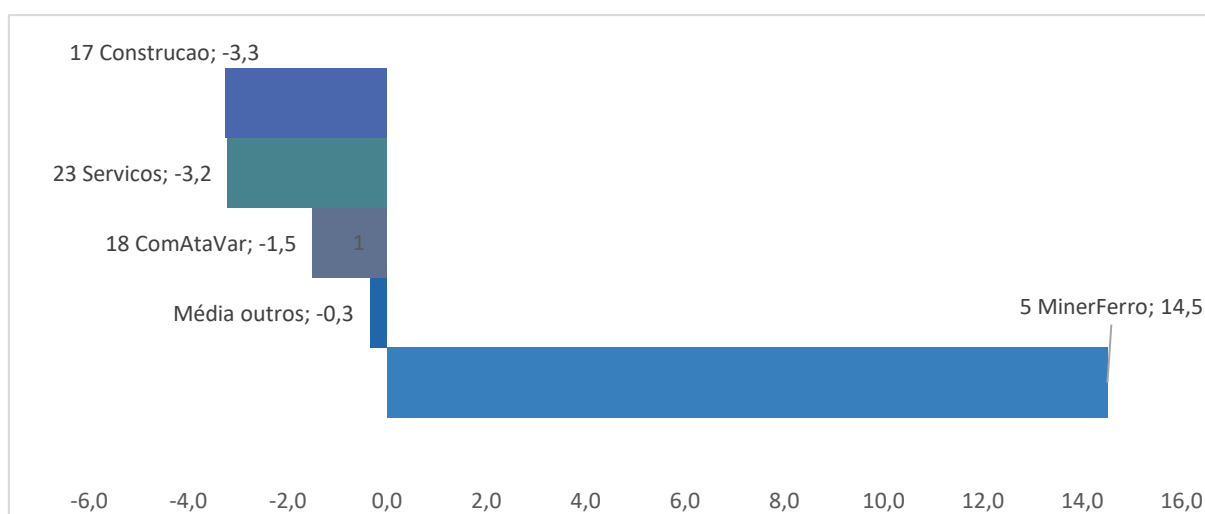
Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

De posse do cenário de desaceleração da mineração e seus impactos macroeconômicos, os resultados permitem investigar os setores mais afetados, dada a estrutura produtiva regional em cada microrregião do modelo.

A região de Conceição de Mato Dentro, por exemplo, passaria pela expansão da participação do setor Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro. Em 2016 e 2050, respectivamente, esse setor responderia por 54% e 69% da produção regional, significando variação positiva de 14,5 pontos percentuais (p.p.). Esse resultado estaria relacionado ao crescimento absoluto expressivo do setor de minério de ferro, muito superior aos demais setores. Portanto, o decréscimo destes não significaria reduções absolutas de sua produção. Tal resultado seria esperado para uma região pequena, que passaria pela fase inicial do ciclo *boom and bust*, em função da instalação ou expansão de um projeto minerário, uma vez que os outros setores produtivos dificilmente acompanhariam o ritmo de crescimento da atividade minerária, vocacionada para a exportação. Este é o caso de Conceição do Mato Dentro, que não possui atividades a jusante da cadeia mineral expressivas em seu território. Outro elemento seria a pressão dos custos internos, de salário e alugueis, provocada pela expansão do setor extrativo mineral, com o que atividades fora da cadeia mineral poderiam ter comprometida sua posição

competitiva regional. Esse resultado é descrito por Clements, Ahammad & Ye (1996) e Ye (2008), no estudo de efeitos de projetos minerários na Austrália. Kyophilavong (2016) também verificou impactos negativos no setor industrial e agrícola frente um choque de expansão do setor minerário na economia de Laos.

Gráfico 18. Setores ganhadores e perdedores, micro de Conceição do Mato Dentro, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

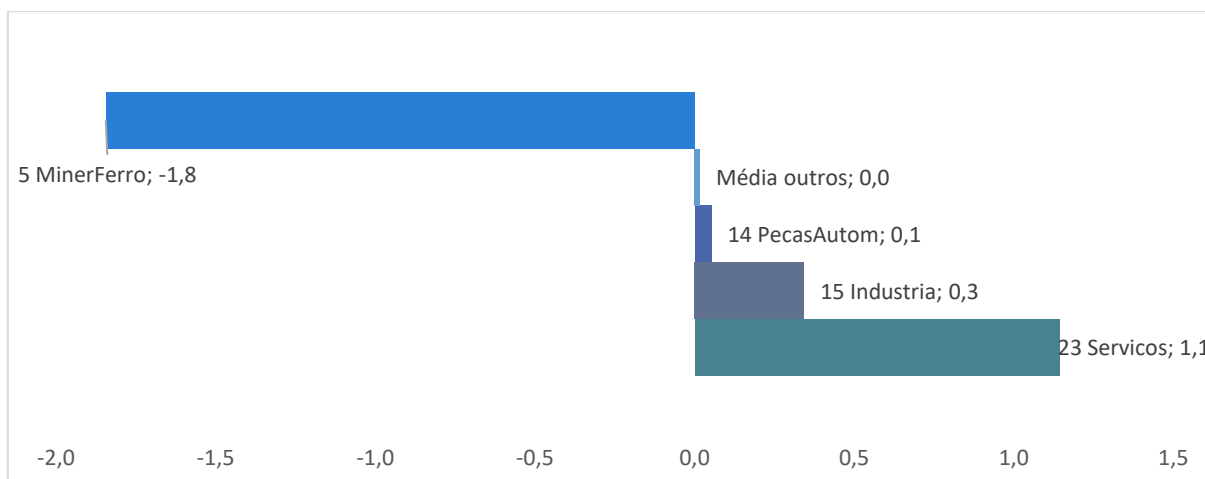
Diferentemente do encontrado por Clements, Ahammad & Ye (1996), Ye (2008) e McKissack *et al.* (2008), que averiguaram os efeitos da expansão do setor minerário em regiões australianas, para esta simulação os setores construção civil, serviços e comércio apresentam perdas. Deve-se ter em mente, entretanto, que o decréscimo aqui informado é em termos de participação relativa. Se for analisada a produção setorial, construção, serviços e comércio de atacado e varejo apresentaram expansão de 15,5%, 8,9% e 4,8%, respectivamente, em desvio acumulado em relação ao cenário base. A ampliação do setor extrativo, porém, foi suficientemente grande para ofuscar esse acréscimo produtivo. O resultado empírico observado pode estar relacionado a supremacia da atividade mineraria dentro de uma região pequena, Conceição do Mato Dentro. Trata-se de um fenômeno tão expressivo que não há comparação. Não há como os demais setores se aproximarem, em pé de igualdade, da pujança mineral, em uma região pequena, assim como é destacado por Enriquez (2008).

A região de Belo Horizonte pode ser caracterizada por uma estrutura produtiva oposta em relação a de Conceição do Mato Dentro. Em 2016 e 2050, o setor Indústria Extrativa Mineral

representaria, respectivamente, 2,3% e 0,5% do valor da produção regional. Isso pontua que a atividade minerária não se configura como uma das atividades com maior participação na produção regional. A concretização dos choques preconizados, com redução de 94% da produção de minério de ferro regional em relação ao cenário base, impactaria marginalmente a estrutura produtiva desta região, de maneira que a variação das participações setoriais é pequena. Vale dizer que a desaceleração do setor Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro possivelmente não afetaria o desenvolvimento dos outros setores da cadeia mineral, alocadas nesta região, como Semilaminados do Aço, Ferro-gusa, Produtos Metálicos, Peças Automotivas e como o setor Indústria, que engloba atividades como Máquinas de Extração Mineral, Manutenção e Reparação de Maquinas e Equipamentos. De fato, pode-se pensar que os descomissionamentos influenciaram o estabelecimento de novas siderúrgicas, que, sem a produção mineral em larga escala no Quadrilátero Ferrífero, poderiam optar por outras regiões. Entretanto, não seria o caso de assumir que a retração simulada influenciaria unidades que já estão estabelecidas, uma vez que estas poderiam, por exemplo, comprar minério produzido em Conceição do Mato Dentro, garantindo seu suprimento. Além disso, não seria razoável esperar que a siderurgia mineira mudaria para o Pará, pois o minério de Carajás, de melhor qualidade, é mais caro e totalmente vocacionado para exportação ao mercado asiático.

Este resultado é importante, uma vez que situaria a região de Belo Horizonte como polo de atividades a jusante da cadeia mineral (metalurgia e siderurgia) e das atividades de apoio, incluindo atividades intensivas em Pesquisa e Desenvolvimento, contidas no setor Indústria (Máquinas para Extração Mineral) e no setor Serviços (Pesquisa e Desenvolvimento, Arquitetura e Urbanismo), com dinâmica produtiva seccionada da ocorrência de produção de minério de ferro na microrregião. O Gráfico 19 ilustra esse resultado.

Gráfico 19. Setores ganhadores e perdedores, micro de Belo Horizonte, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050

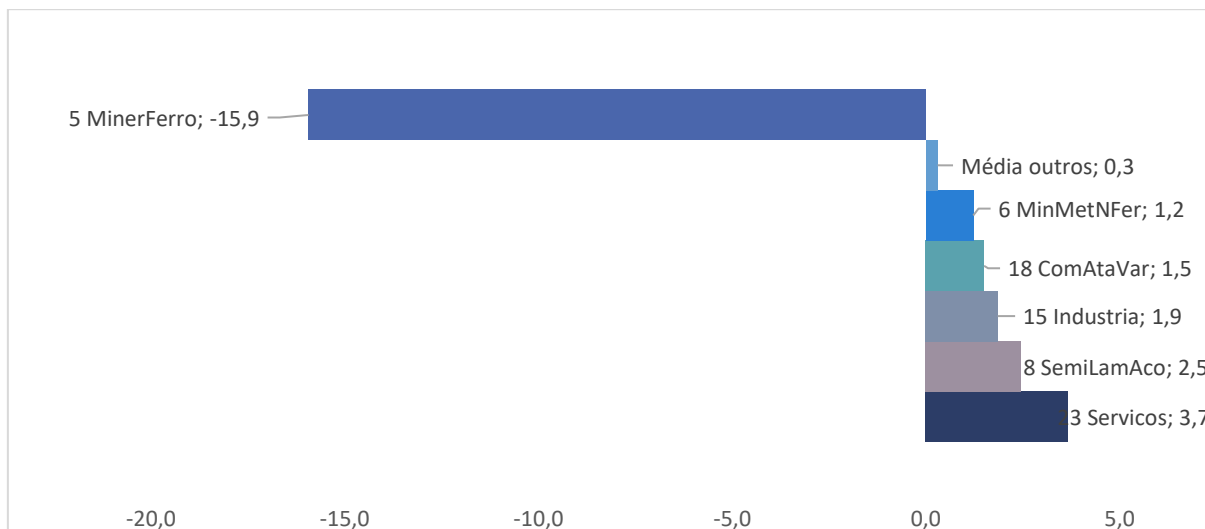


Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

No caso da região de Itabira, primeira sede da Companhia Vale do Rio Doce, haveria a redução absoluta e relativa do valor de produção do setor Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro, dado que a mesma que passaria pela exaustão de parte de suas jazidas de minério de ferro até 2029. Entre os anos de 2016 e 2050, este setor responderia por 39 e 23% da produção regional, respectivamente. Nesse caso, a redução da atividade minerária ensejaria o crescimento de outros setores, que utilizariam os fatores de produção disponíveis na economia. Esse florescimento de outros segmentos produtivos também foi relatado nas simulações empreendidas por Lofgreen, Robinson & Thurlow (2002), que simularam a eliminação da atividade extrativa de cobre em Zâmbia, encontrando aumento na produção e exportação de produtos agrícolas e bens manufaturados. Ou seja, a diversificação regional a partir do esvaziamento produtivo da indústria extrativa mineral.

A manutenção da Mina de Brucutu na região, por outro lado, poderia assegurar a continuidade das atividades regionais a jusante da cadeia mineral, como aquelas contidas no setor Semilaminados do Aço. Os setores Serviços e Comércio Atacado e Varejo, de maneira geral, teriam potencial de absorver mão de obra local, dado que são intensivos nesse fator. Assim, o crescimento destes poderia indicar suavização de fatores adversos sobre o consumo das famílias e sobre o PIB, em função da redução da atividade minerária regional. O Gráfico 20 indica a variação na participação desses setores na economia regional entre 2016 e 2050.

Gráfico 20. Setores ganhadores e perdedores, micro de Itabira, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

A região de Itaguara passaria por redução de 98% de sua produção de minério de ferro no período considerado. Entre os anos de 2016 e 2050, a participação do setor Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro na estrutura produtiva regional oscilaria entre 30% e 4%. No caso dessa região, especificamente, a extração de minério de ferro está diretamente relacionada com atividades a jusante da cadeia, dado que são empresas siderúrgicas (ArcelorMittal, Usiminas) que realizam a extração mineral para autoconsumo. Portanto, assumir que o setor Semilaminados do Aço não seria impactado pela redução da atividade minerária é pouco factível.

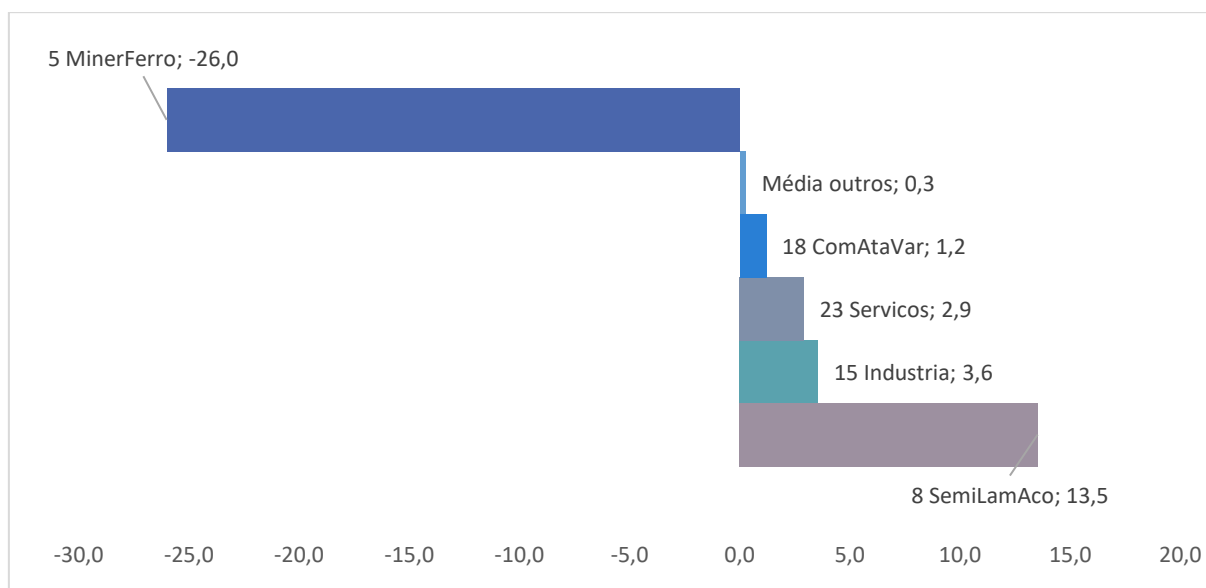
A decisão locacional de uma firma no espaço está relacionada com a localização geográfica de sua fonte de matéria prima, com a ubiquidade de seus insumos e produtos e também com a localização de seu mercado consumir / estrutura modal de escoamento da produção. Dado que a região de Itaguara não é mercado consumir alvo de uma siderúrgica, a decisão locacional da firma possivelmente está associada com a localização de seu insumo primordial, a jazida mineral. Com a restrição no acesso ao mesmo, caberia a firma as seguintes opções:

- 1) Exploração regional de outra jazida não impactada pelo descomissionamento / descaraterização;
- 2) Implantação regional de estrutura alternativa para disposição dos rejeitos;
- 3) Procura de outros fornecedores de minério de ferro
- 4) Mudança na decisão locacional da firma.

A tomada de decisão sobre alocação espacial da atividade produtiva da firma pode ser feita com base na análise de custo de oportunidade entre as alternativas possíveis. Assim, haveria risco em relação à continuidade dessas atividades metalúrgicas e siderúrgicas na região de Itaguara.

Entretanto, assegurando-se os insumos por meio de fornecedores de outras regiões, como Conceição do Mato Dentro ou da mina de Brucutu, o setor siderúrgico poderia aumentar sua participação por meio da absorção de fatores de produção liberados da mineração de ferro. De fato, como visto na seção de caracterização das regiões minerárias, Itaguara possui vantagem comparativa na siderurgia, que se explica pela presença da Vallourec Soluções Tubulares do Brasil em Jeceaba, cujo estabelecimento poderia ter sido uma decisão locacional baseada na oferta de minério na região. Assim, com a liberação de capital e trabalho do setor extrativo, a companhia, já estabelecida, poderia ampliar sua operação, o que foi captado pelo modelo, dada elevação da participação setorial de Semilaminados de Aço indicada pelo Gráfico 21.

Gráfico 21. Setores ganhadores e perdedores, micro de Itaguara, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

A região de Ouro Preto passaria pela redução de 96% de sua produção de minério de ferro, em relação ao cenário base. A participação desse setor na estrutura produtiva, entre 2015 e 2050, seria de 63% a 20%, respectivamente, o que poderia levar à retração econômica regional. Nesse caso, o incremento de participação produtiva dos setores destacados no Gráfico 22 indicaria a diversificação pelo esvaziamento produtivo da atividade minerária, em consonância com o

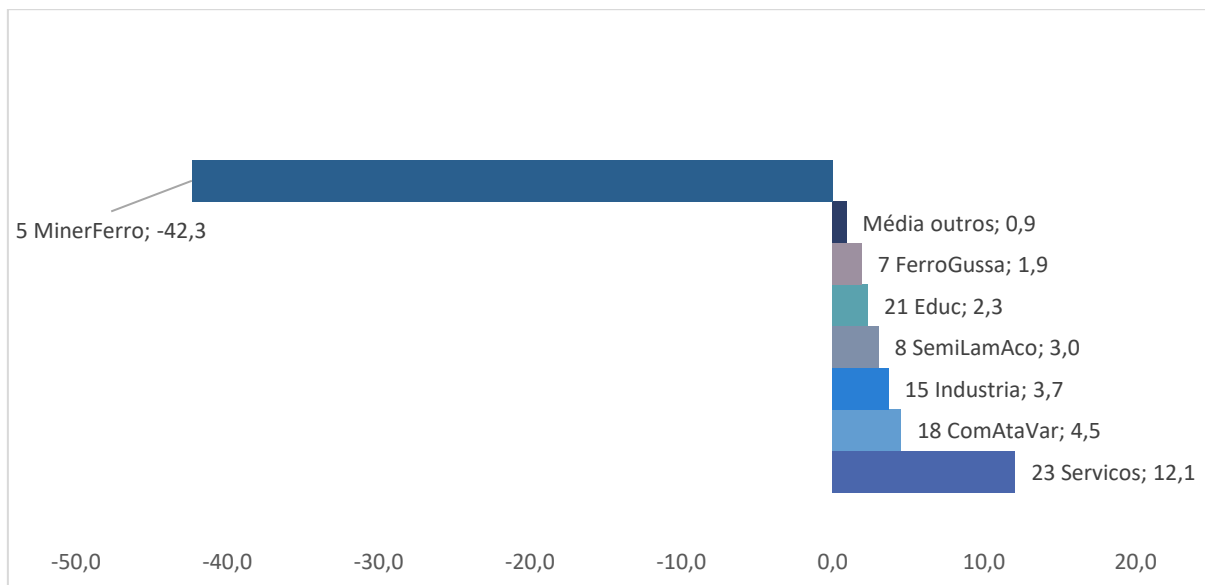
relatado por Lofgreen, Robinson & Thurlow (2002) para choques semelhantes em outra região. Legado esse que pode ser caracterizado como *bust* mineral, que já deixou cidades fantasmas ao redor do mundo, em países como Canadá e Estados Unidos. Haveria, deste modo, a paralisação / exaustão da totalidade das plantas minerárias, com exceção daquelas de propriedade da Gerdau. A continuidade das atividades deste grupo garantiria ao território a manutenção, pelo menos parcial, das atividades a jusante da cadeia mineral, tais como, setores Semilaminados e Ferro-gusa.

Outro fator não previsto que poderia minimizar tais impactos adversos seria a implantação do Termo de Transição e Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado em março de 2016, que define o escopo da atuação da Fundação Renova formado por 42 programas e projetos que estão sendo implementados na área impactada do rio Doce e afluentes, parcialmente contida na região de Ouro Preto.

O TTAC Mariana contém o detalhamento de investimento em eixos temáticos, dentre eles: Pessoas e Comunidades, Terra e Água e Reconstrução e Infraestrutura, com valor aproximado de R\$ 20 bilhões.

Os investimentos descritos no TTAC poderiam impactar positivamente vários setores produtivos, como, por exemplo, Serviços, Serviços de Administração pública, Indústria, Educação, Construção, Serviços de Infraestrutura e Utilidade Pública, Saúde e Comércio Atacado e Varejo, principalmente durante a década de 2020. Entretanto, não há como projetar se esse investimento seria capaz de compensar o efeito estimado da desaceleração da mineração.

Gráfico 22. Setores ganhadores e perdedores, micro de Ouro Preto, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050



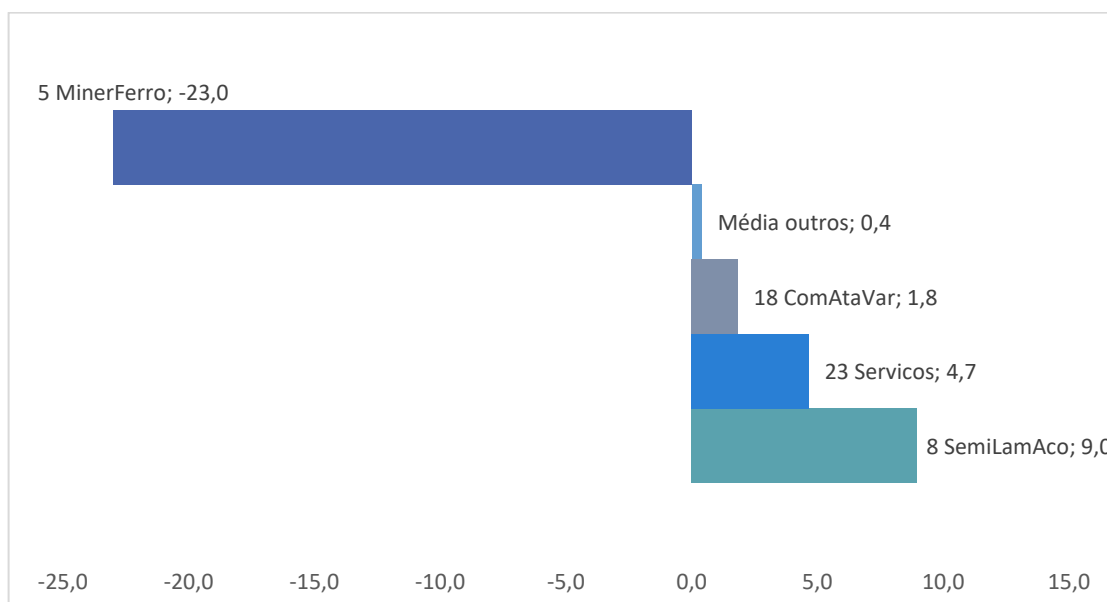
Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

A região de Conselheiro Lafaiete passaria por redução de 97% de sua produção de minério de ferro, no período considerado em relação ao cenário de referência, em função do descomissionamento / descaracterização das barragens de rejeito associadas a operação da CSN, no município de Congonhas. Entre os anos de 2016 e 2050, a participação do setor Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro na estrutura produtiva regional oscilaria entre 27% e 4,5%.

No caso dessa região, especificamente, a extração de minério de ferro não está diretamente encadeada com atividades a jusante da cadeia, dado que a CSN apenas extrai ferro em Congonhas, sem processamento a jusante. As atividades siderúrgicas regionais estão associadas, principalmente, à planta da Gerdau, localizada em Ouro Branco. Portanto, o setor Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço não seria impactado diretamente pela redução da atividade minerária, supondo-se o fornecimento de insumos por outras regiões, como Conceição do Mato Dentro e Itabira (mina de Brucutu). De maneira geral, o crescimento de participação dos setores Serviços e Indústria, como evidenciado no Gráfico 23, poderia estar associado a disponibilidade de fatores de produção, em função da redução da atividade minerária.

Caso a paralisação da operação da Mina Casa de Pedra se confirme, em função do descomissionamento / descaracterização de suas barragens associadas, uma série de investimentos em geotecnia, tecnologia mineral, engenharia e social seriam necessários. Isso poderia dirimir os impactos negativos, concentrados no município de Congonhas, ao longo da década de 2020. Além disso, como a Barragem B4 se localiza dentro do espaço urbano do município de Congonhas, possuindo a jusante uma massa populacional considerável, poderia ser necessário realocar parte dessa população, o que incentivaria o crescimento do mercado imobiliário e do setor Construções local.

Gráfico 23. Setores ganhadores e perdedores, micro de Conselheiro Lafaiete, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050

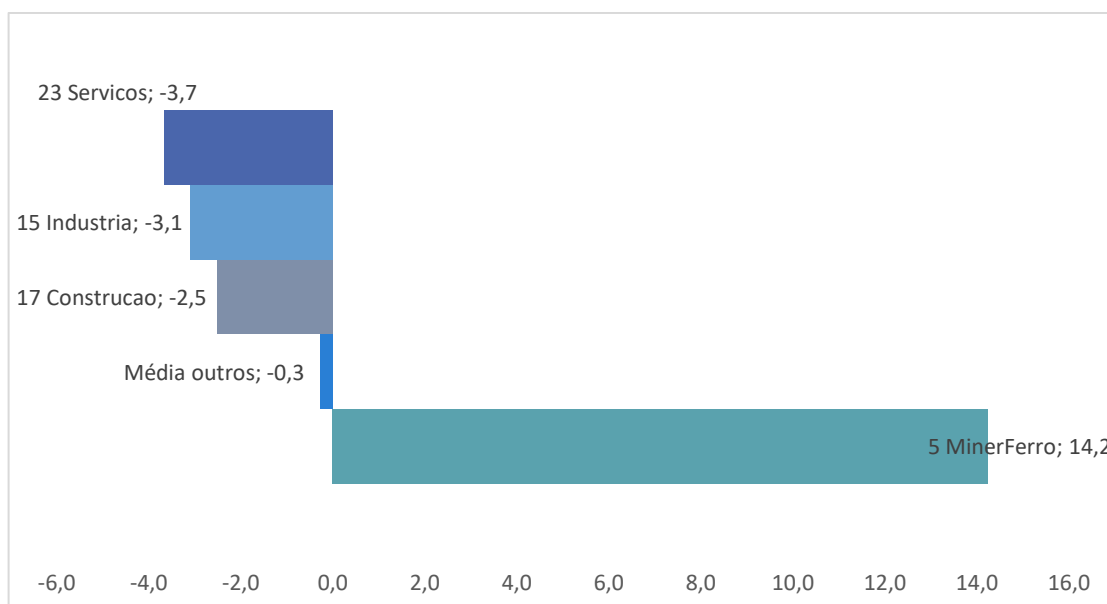


Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

Segundo o cenário de simulação, a região de Parauapebas passaria pela expansão da participação do setor Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro. Em 2016 e 2050, esse setor responderia por 52% e 66% da produção regional, significando variação positiva de 14,25 pontos percentuais (p.p.). Esse resultado estaria relacionado ao crescimento absoluto expressivo do setor Indústria Extrativa Mineral do Minério de Ferro. Portanto, a variação negativa da participação dos demais setores não significaria reduções absolutas de sua produção, e, de fato, os setores construção, serviços e indústria apresentariam expansão de 49,4%, 22% e 21,7%, em relação ao cenário base.

Os resultados apontam para um processo que passaria pela fase inicial do ciclo *boom and bust*, em função da instalação / expansão de um projeto minerário, uma vez que, os outros setores produtivos dificilmente acompanhariam o ritmo de crescimento da atividade minerária, vocacionada para a exportação, com sistema de logística e escoamento da produção já integrado. Este é o caso de Parauapebas, que não possui atividades a jusante da cadeia mineral expressivas em seu território. Além disso, o setor de minério de ferro, em geral, atua como um “ímã” atraindo fatores de produção da região e de outros setores, reforçando ainda mais a dependência extrativa do território.

Gráfico 24. Setores ganhadores e perdedores, micro de Parauapebas, resultado do cenário de desaceleração do setor de minério de ferro em Minas Gerais, variação da participação na região em pontos percentuais (p.p.), 2016 a 2050



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

5.5. Ganhos de produtividade e mudança estrutural

Com o cenário previsto de desaceleração da indústria extrativa mineral de minério de ferro, as regiões minerárias necessitariam fomentar setores com potencial de geração de renda e emprego, a fim de manter o nível de bem-estar da comunidade. Há caminhos distintos para diversificação. O primeiro, mais difícil e complexo, é instalar um segmento totalmente diferente, sem nexos com a economia local. Embora seja um processo lento, os efeitos completivos engendrados fazem com que uma série de novos investimentos sejam induzidos, o que deve ser a principal preocupação de uma política desenvolvimentista destinada a economias subdesenvolvidas (HIRSCHMAN, 1958).

O segundo caminho visa agregar valor na cadeia mínero-metalúrgica, por exemplo deslocando-se da mineração propriamente dita para serviços de alta complexidade de apoio à mineração, que poderiam suportar a indústria extrativa mineral de outras regiões mineradoras do estado de Minas Gerais ou ainda fornecer para a região minerária do Para. Uma vantagem desta alternativa é aproveitar os recursos locais especializados na atividade e a *expertise* acumulada, de modo que, quando extração mineral se exaurir, o setor poderia prestar serviços a outras regiões minerárias, como é o caso da Áustria e Alemanha.

O terceiro caminho é diversificar no sentido de uma atividade econômica latente, que demonstra vantagens comparativas ou vocação regional.

Uma política pública de planejamento regional seria de suma importância para nortear o redesenvolvimento produtivo dessas localidades. Caberia dentro do escopo desta tese modelar e simular impactos de planos de investimento regional vocacionados para a mudança estrutural da base econômicas dessas regiões. Contudo, não há política pública estadual ou federal que planeje a reconversão produtiva desses territórios.

A simulação exposta a seguir contém apenas um ensaio inicial sobre alternativas produtivas que poderiam ser incentivadas localmente. Esse esforço empírico, no entanto, não substitui a latente necessidade de planejamento regional para a reconversão produtiva, incluindo a definição de pacotes de investimentos induzidos, que deveriam, por sua vez, passar por modelagens de impacto, para galgar a mudança estrutural da base produtiva local.

Na tentativa de mediar esse *gap* de planejamento, foi empreendida a simulação, cujos choques corresponderam ao aumento de 1% na produtividade total de cada um dos setores das regiões do modelo. O objetivo destas simulações é averiguar quais setores engendrariam maiores impactos em termos de produção, nível de atividade e emprego em cada região, funcionando como uma matriz de impactos e multiplicadores setoriais. Neste sentido, setores com maior capacidade de repercussão sobre a economia regional, potencialmente, poderiam ser considerados em políticas de diversificação produtiva, de forma a maximizar a geração de emprego, renda ou produto, por exemplo.

Entretanto, além dos setores com maior potencial de crescimento e espraiamento, o seu tamanho dentro da economia é um requisito importante para a análise de fomento produtivo. porque delimita aqueles que têm relevância regional. Assim, é necessário considerar também o

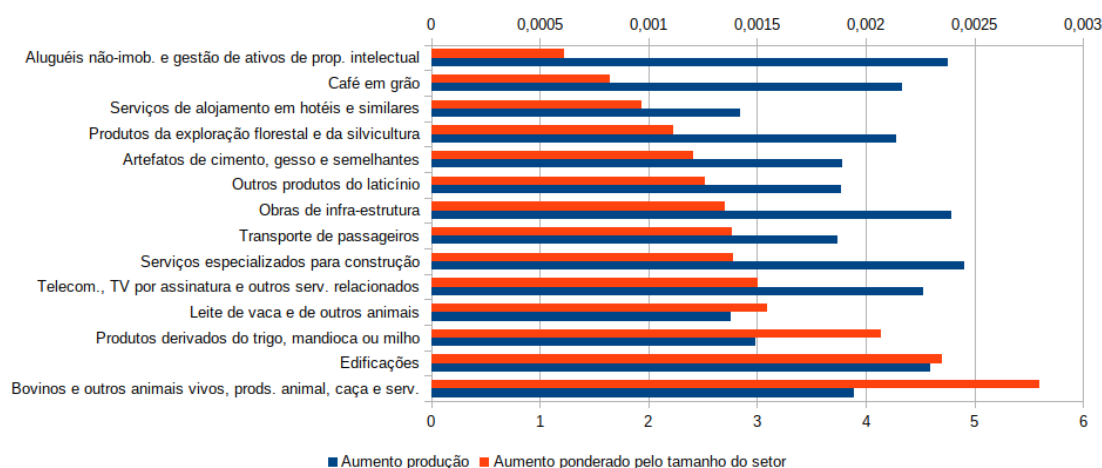
tamanho setorial, que é aproximado, neste estudo, pela participação do setor de cada região na produção setorial agregada.

Nessa simulação, ao invés de 23 setores foram utilizados 123, para empreender uma análise mais detalhada dos impactos e indicar, com maior precisão, quais as alternativas potenciais em cada região, objetivando a diversificação da estrutura produtiva regional, no cenário de retração da atividade mineradora. A lista com a descrição de cada um desses setores pode ser analisada no Anexo 03. O setor 19 (Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro) foi excluído da análise, por ser justamente aquele a que se buscam alternativas.

5.5.1. Conceição do Mato Dentro

O Gráfico 25 explicita o resultado da simulação, em termos do PIB pela ótica do produto, do aumento de 1% da produtividade dos setores da região de Conceição do Mato Dentro. Neste, são apresentados os setores com maior expansão produtiva ponderada pelo percentual da produção no agregado nacional do setor. No eixo inferior, está o aumento produtivo em porcentagem, enquanto a expansão ponderada pela participação setorial é medida pelo eixo superior.

Gráfico 25. Setores com maior crescimento ponderado (%), Conceição do Mato Dentro, 2016



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

Os resultados revelam que os segmentos que apresentariam maiores ganhos em termos de produção se concentrariam nos setores Bovinos e Outros Animais Vivos, Produtos Animais, Caça e Serviços, Edificações, Produtos Derivados do Trigo, Mandioca ou Milho e Leite de Vaca e de Outros Animais. Em seguida, aparecem Telecomunicações, TV por assinatura e Outros Serviços Relacionados, Serviços Especializados para Construção e Transporte de Passageiros.

Tais impactos apontam que uma política de diversificação produtiva, dada a estrutura já dada da região, poderia considerar, no curto e médio prazos, incentivos ao setor agropecuário, como bovinos, laticínios, produtos cereais, café e produtos da exploração florestal. Embora parte dessas atividades sejam de baixo valor agregado (LeiteVacOut), há setores mais complexos e de maior valor agregado que poderiam estar a jusante do segmento, tais como Café em Grãos, com as atividades de fabricação de produtos à base de café, e Bovinos e Outros Animais Vivos, com as atividades Carne de Bovinos e Outros Produtos de Carne (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021).

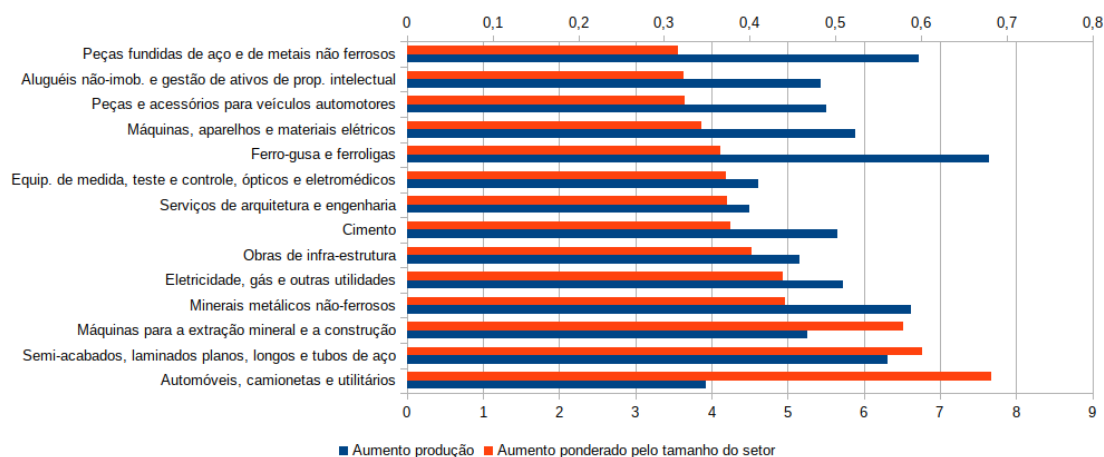
Os dados indicariam também o potencial de investimentos em setores da cadeia de construção civil, como serviços especializados de construção, obras de infraestrutura, edificações e artefatos de cimento, gesso e semelhantes, além de atividades ligadas ao setor imobiliário na região.

O incentivo a atividades de turismo – setores Transportes de Passageiros e Serviços de Alojamento em Hotéis e Similares – poderia agregar complexidade produtiva, dado que esse segmento pertence à Indústria Cultural e Criativa e possui alta complexidade (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021), e serviria tanto ao apoio da atividade minerária como também potencializar vocações tradicionais, como o ecoturismo e turismo religioso.

5.5.2. Belo Horizonte

O Gráfico 26 mostra o resultado da simulação, em termos do impacto sobre a produção, para a microrregião de Belo Horizonte, elencando os 14 setores que tiveram maior acréscimo ponderado pela participação setorial, em resposta ao choque de produtividade.

Com o choque de 1% de produtividade em cada setor, destaca-se o crescimento dos setores Ferro-gusa e Ferroligas, Naftas para Petroquímica, Petróleo, Gás Natural e Serviços de Apoio e Produtos da Metalurgia de Metais Não-ferrosos. Na esteira estão Produtos da Exploração Florestal e da Silvicultura, Serviços Cinematográficos, Música, Rádio e Televisão e Óleo Combustível.

Gráfico 26. Setores com maior crescimento ponderado (%), Belo Horizonte, 2016

Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

Considerando-se o tamanho setorial, entretanto, os setores com maior acréscimo produtivo seriam Automóveis, Camionetas e Utilitários, Semi-acabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço, Máquinas para a Extração Mineral e a Construção e Minerais Metálicos Não-ferrosos. Em seguida, aparecem Eletricidade, Gás e Outras Utilidades, Obras de Infraestrutura e Cimento. Os setores Aluguéis Não Imobiliários e Gestão de Ativos de Propriedade Intelectual e Serviços de Arquitetura e Engenharia também se destacariam nesse contexto.

Uma política de diversificação para a Região Metropolitana de Belo Horizonte, deveria dar vazão a atividades complexas, com potencial inovativo e intensivas em P&D. Essa região, que suporta a capital do estado de Minas Gerais e outros polos industriais importantes, como Betim e Contagem, deveria influenciar as demais regiões e supri-las com atividades industriais de alta intensidade tecnológica, com um setor terciário complexo e diversificado, com atividades inovativas e pertencentes à Indústria Cultural e Criativa. Nesse sentido, etapas da cadeia produtiva automobilística, cujas fases intermediárias já estão estabelecidas regionalmente, e, complementarmente, na produção de combustíveis, seriam uma alternativa.

Hausman & Hidalgo (2014) destacam a alta correlação entre centralidade no espaço do produto e complexidade das cadeias. Assim, cadeias periféricamente conectadas como Produtos Minerais e Produtos de Origem Vegetal, por exemplo, tendem a possuir baixa complexidade econômica. Produtos pertencentes à cadeia de Máquinas e Equipamentos, que ocupam uma posição central no espaço dos produtos, em contraposição, tendem a possuir alta complexidade

econômica. Outro foco seria incentivar o setor Máquinas para a Extração Mineral e a Construção.

As localidades tornam-se mais atraentes para a alocação das atividades produtivas na medida em que fornecem uma amplitude produtiva e complexidade do setor terciário, em função da relativa não transportabilidade dos serviços. Possuir também ecossistemas articulados para interação dos agentes econômicos localmente aglomerados pode ocasionar vantagens comparativas regionais. Como afirma Lemos (1988), esses espaços privilegiados podem proporcionar sobrelucro às atividades que ali se instalam. Desse modo, o incentivo aos serviços, em especial aqueles de alta complexidade, é causa e efeito do processo de diversificação industrial e inovação retroalimentada, uma vez que ambos os aspectos são necessários à reprodução eficiente do capital e conseqüente aumento potencial da taxa de lucro.

Quanto maior a aglomeração geográfica dos serviços, maior a complexidade, diversificação e capacidade de gerar externalidades do centro urbano sobre a sua estrutura produtiva (NAHAS *et al.*, 2019b).

Assim, incentivar serviços complexos e pertencentes à Indústria Cultural e Criativa seria de suma importância. Os setores Alugueis Não-imobiliários e Gestão de Ativos de Propriedade Intelectual (112) e Serviços de Arquitetura e Engenharia (110) estariam nessa seleção.

Dentro da cadeia mínero-metalúrgica, o foco prioritário seria aglutinar a *expertise*, iniciativas e rede institucionais relacionadas ao tema, de maneira que a Região Metropolitana de Belo Horizonte estaria apta a fornecer todo o suporte intelectual e institucional para a cadeia, no estado.

O setor Equipamento de Medida, Teste e Controle, Ópticos e Eletro-médicos também poderia ser incentivado, dentro da rota de avanço na complexidade produtiva regional.

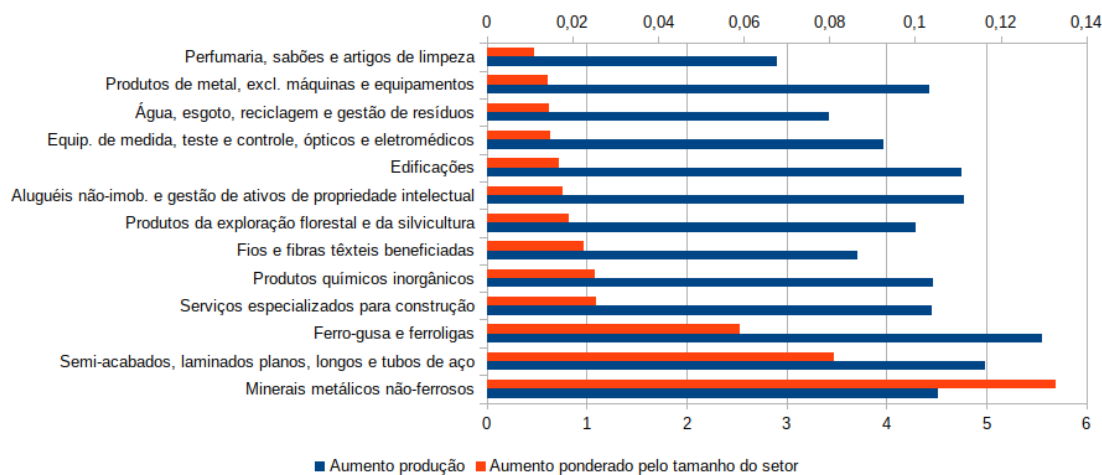
5.5.3. Itabira

Nessa microrregião, destacam-se os setores Ferro-gusa e Ferroligas, Publicidade e Outros Serviços Técnicos, Serviços Cinematográficos, Música, Rádio e Televisão e Eletricidade, Gás e Outras Utilidades. Em seguida, aparecem os setores Produtos do Fumo, Naftas para Petroquímica, Petróleo, Gás Natural e Serviços de Apoio.

O Gráfico 27 elenca os 13 setores com maior resultado ponderando pelo tamanho setorial relativo à produção setorial agregada. Excluindo o setor Indústria Extrativa Mineral do Minério

de Ferro, aqueles que engendrariam maiores ganhos em termos produtivos, dado variações na produtividade, seriam Minerais Metálicos Não-ferrosos, Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço, Ferro-gusa e Ferroligas e Serviços Especializados para Construção.

Gráfico 27. Setores com maior crescimento ponderado (%), Itabira, 2016



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

Nessa região, na circunstância de uma política de fomento a atividades alternativas ao minério de ferro, opções para além da cadeia da mineração ou metalurgia são restritas. Poder-se-ia propor, entretanto, um programa de incentivos à indústria pesada direcionada a alavancar setores possivelmente complementares à indústria automobilística de Belo Horizonte, criando-se então uma sinergia inter-regional.

Caberia incentivar serviços com elevada complexidade fora da cadeia mínero-metalúrgica. Assim, seria possível valorizar a tradição regional de tecelagem artesanal (municípios de Barão de Cocais, Santa Barbara e Catas Altas) e ao mesmo tempo fortalecer o setor Fios e Fibras Têxteis Beneficiadas, dotado de alta complexidade (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021).

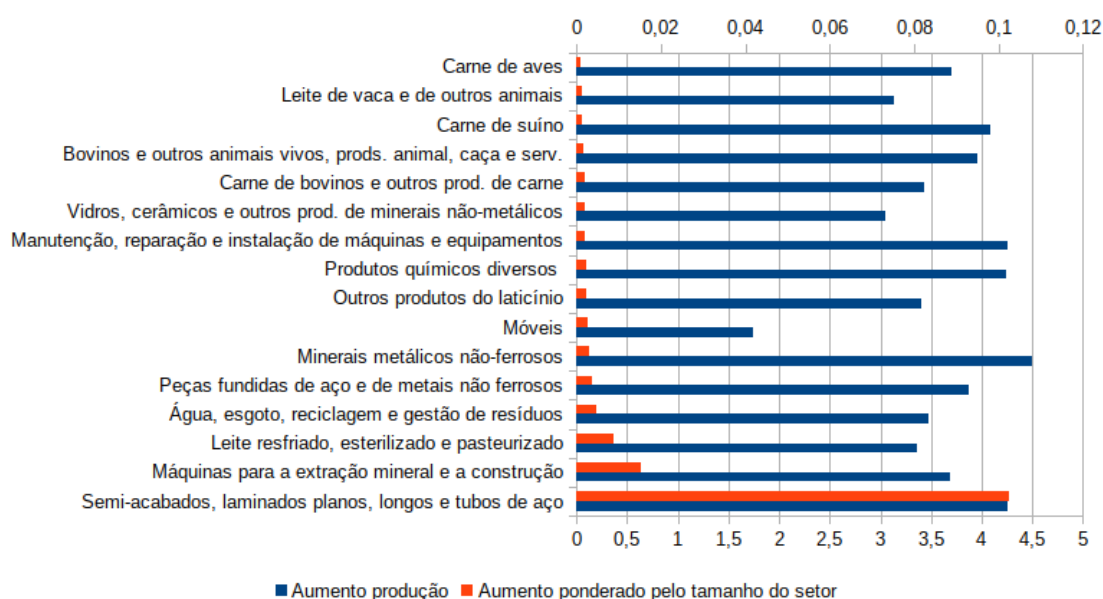
A fim de galgar incrementos de complexidade regional, caberia incentivar setores com alta complexidade, de acordo com o Atlas da Complexidade Econômica (2021), mas com tamanho reduzido, como: Perfumaria, Sabões e Artigos de Limpeza, Publicidade e Outros Serviços Técnicos e Serviços Cinematográficos, Música, Rádio e Televisão, os dois últimos pertencentes a Indústria Cultural e Criativa, e o setor Produtos do Fumo.

5.5.4. Itaguara

O Gráfico 28 evidencia a ampliação de produção, via compras intermediárias, para a região de Itaguara. Os setores Eletricidade, Gás e Outras Utilidades, Naftas para Petroquímica, Aluguel Efetivo e Serviços Imobiliários e Ferro-gusa e Ferroligas se destacariam, neste cenário. Em seguida, Aluguel Imputado, Combustíveis para Aviação e Óleo Combustível acarretariam maiores impactos sobre a produção, dado aumentos de produtividade dos setores.

Considerando o tamanho setorial, os setores Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço, Máquinas para a Extração Mineral e a Construção, Leite Resfriado, Esterilizado e Pasteurizado e Água, Esgoto, Reciclagem e Gestão de Resíduos destacam-se por sua capacidade de gerar crescimento do produto, frente ao choque de produtividade setorial.

Gráfico 28. Setores com maior crescimento ponderado (%), Itaguara, 2016



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

Os setores com maior potencial de crescimento em Itaguara seriam aqueles da metalurgia e mineração. Enquanto possibilidade de diversificação produtiva caberia destacar o setor Máquinas para a Extração Mineral e Construção, que possui elevada complexidade (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021). Com o decaimento relativo da Indústria Extrativa de Minério de Ferro em Minas Gerais, as regiões minerárias poderiam, por exemplo, suprir o setor de bens de capital para a atividade, interagindo comercialmente com o Norte do país. Isso, desde que existisse política pública e esforços direcionados para o adensamento de valor dentro da cadeia, uma vez que este movimento possivelmente não ocorreria de forma natural e sem incentivo deliberado. Assim, seria possível utilizar o *know how* mineral absorvido

localmente, a jusante na cadeia por parte das regiões com tradição minerária, mesmo em um cenário de enfraquecimento da mineração de minério de ferro regional.

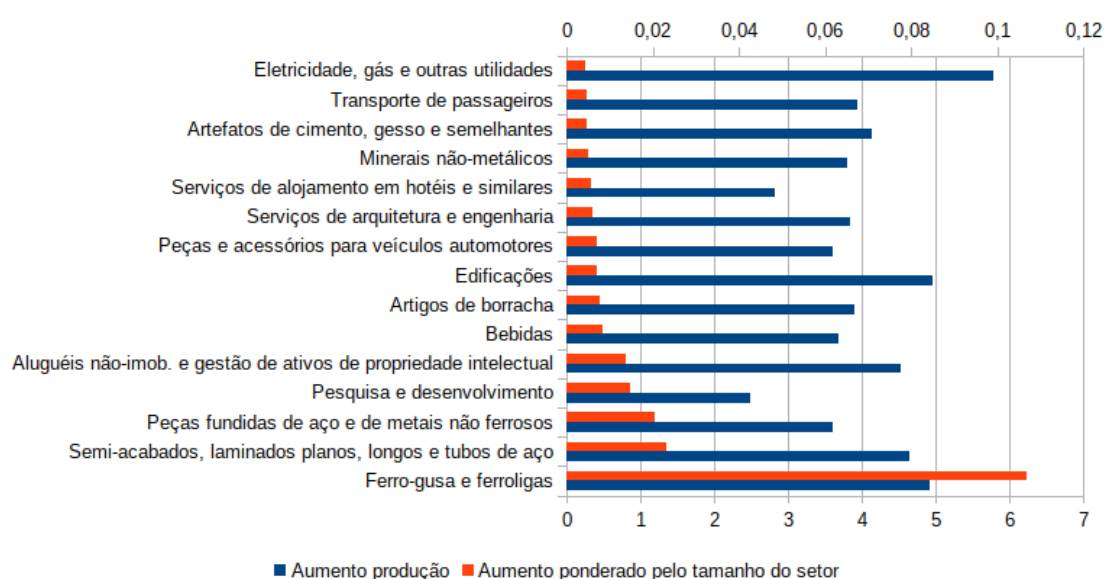
O fortalecimento do arranjo produtivo local de Carnes e Laticínios, poderia fornecer à região uma alternativa no segmento terciário, possibilitando aproveitamento de mão de obra local com habilidades tácitas agropecuárias e com menor grau de instrução formal. Nesse contexto, se encaixariam incentivos aos setores Carne de Aves, Carne de Suínos, Carne de Bovinos e Outros Produtivos de Carne, Bovinos e Outros Animais Vivos, Leite de Vaca e de Outros Animais e Leite Resfriado, Esterilizado e Pasteurizado. Cabe aqui destacar que o setor Carne de Bovinos e Outros Produtivos de Carne deveria ser o carro chefe, dado que possui alta complexidade (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021).

5.5.5. Ouro Preto

Para Ouro Preto, os segmentos com maior expansão produtiva face à simulação de choque de 1% de produtividade se concentrariam em: Eletricidade, Gás e Outras Utilidades, Naftas para Petroquímica, Edificações, Publicidade e Outros Serviços Técnicos, Ferro-gusa e Ferroligas, Minerais Metálicos Não-ferrosos e Produtos do Fumo.

No Gráfico 29 estão elencados os 15 setores com maior acréscimo de produção ponderado pela participação setorial. Dele se depreende que tiveram maior incremento produtivo os setores Ferro-gusa e Ferroligas, Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço, Peças Fundidas de Aço e de Metais Não-ferrosos e Pesquisa e Desenvolvimento.

Gráfico 29. Setores com maior crescimento ponderado (%), Ouro Preto, 2016



Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

Levando-se em conta o tamanho setorial, os dados apontariam para o potencial siderúrgico de Ouro Preto. As possibilidades de crescimento, a partir do estímulo direcionado aos setores Indústrias Metalúrgica e Mecânica e segmentos associados nesta e nas demais regiões minerárias de Minas Gerais, novamente se confirmam. Sugere-se a implementação de políticas públicas que sejam capazes de aproveitar as complementaridades técnicas inter-regionais com foco na indústria pesada (máquinas e equipamentos, peças e derivados da metalurgia), encadeada com os setores automobilístico e de bens de capital para mineração.

Não obstante, incentivar o setor Pesquisa e Desenvolvimento com enfoque na cadeia mínero-metalúrgica é fundamental para o adensamento de valor e diferenciação regional, no contexto brasileiro. Abrigar em conjunto o Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto e o Instituto Tecnológico Vale Mineração é uma vantagem comparativa que precisa entrar na estratégia de diversificação produtiva.

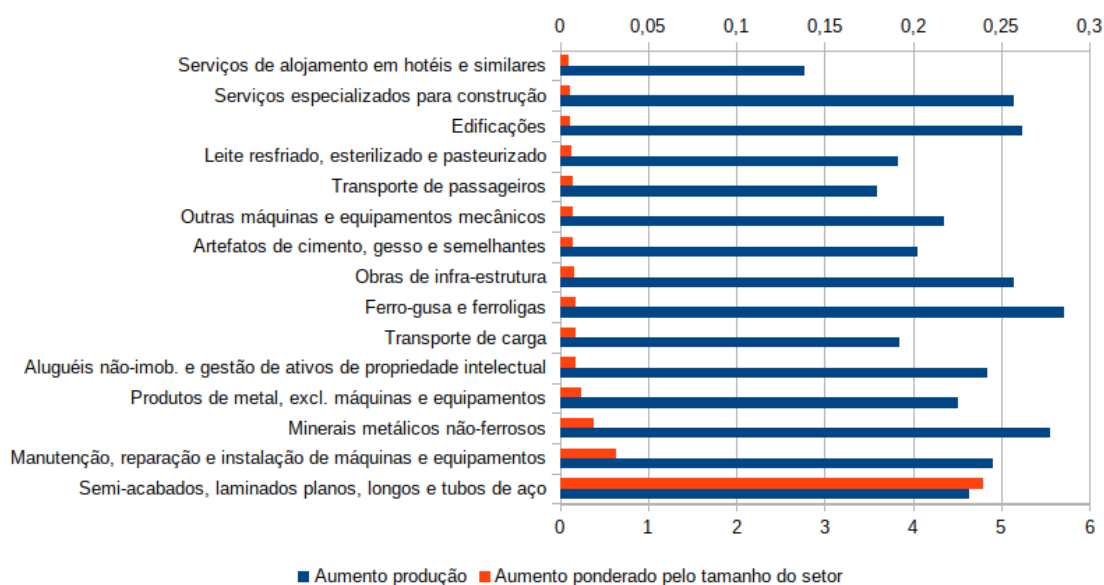
Incentivo às atividades de turismo fortaleceriam potencialidades já existentes e com alta capacidade de promover o desenvolvimento local. Isso inclui os setores Transporte de Passageiros e Serviços de Alojamento em Hotéis e Similares.

O setor Artigos de Borracha também possui alta complexidade e poderia ser incentivado, dentro da estratégia de adensamento de complexidade regional (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021).

5.5.6. Conselheiro Lafaiete

Os setores com maior crescimento frente a um choque de produtividade de 1% na microrregião de Conselheiro Lafaiete seriam Ferro-gusa e Ferroligas, Minerais Metálicos Não-ferrosos, Aluguel Efetivo e Serviços Imobiliários e Edificações, seguidas por Serviços Especializados para Construção, Obras de Infraestrutura, Naftas para Petroquímica e Eletricidade, Gás e Outras Utilidades.

Os 15 setores indicados no Gráfico 30 seriam aqueles com maior resultado ponderado pelo tamanho setorial relativo. Destacam-se em termos de ganhos de produção os segmentos Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço, Manutenção, Reparação e Instalação de Máquinas e Equipamentos, Minerais Metálicos Não-ferrosos e Produtos de Metal, exclusive Máquinas e Equipamentos.

Gráfico 30. Setores com maior crescimento ponderado (%), Conselheiro Lafaiete, 2016

Fonte: elaboração própria com base nos resultados das simulações.

Os resultados indicam uma política de diversificação produtiva na região de Conselheiro Lafaiete liderada pela cadeia minero-metalúrgica, incluindo os setores Semiacabados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço, Manutenção, Reparação e Instalação de Máquinas e Equipamentos, Produtos de Metal, exclusive Máquinas e Equipamentos. Tais efeitos sugerem vantagens comparativas regionais para a formação de arranjo produtivo local com foco na fabricação, manutenção, e instalações de máquinas para a extração mineral e metalurgia.

Como segundo eixo, poderia ser considerados os setores Transporte de Passageiros, Serviços de Alojamento em Hotéis e Similares, em conjunto com o fortalecimento das atividades de turismo, que possuem alta complexidade e compõe a Indústria Cultural e Criativa, fonte de inovação e desenvolvimento local sustentado (ATLAS DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA, 2021).

Espera-se, com os elementos trazidos nesta seção, corroborar a discussão sobre estratégias de diversificação produtiva para os territórios minerados de Minas Gerais. Como visto na seção anterior, isso é um tema de grande urgência: com a paralisação de empreendimentos mineiros com barragens de rejeitos a montante, e com a perda de vantagem competitiva para a província mineral do Pará, a indústria extrativa mineral de algumas regiões está ameaçada nas próximas décadas, com grandes impactos, se se concretizar, em termos de renda e emprego. Haveria o perigo de acentuada contração econômica, com o estado passando de uma participação de 9,25% do PIB nacional, em 2016, para 8,83% em 2050. No caso de regiões com manutenção da atividade, como é Conceição do Mato Dentro, o risco de repetir a experiência dos mais

territórios é grande, com simplificação da estrutura produtiva e grande dependência da renda gerada na mineração.

A identificação dos setores com maior potencial de crescimento é, assim, o primeiro passo para elaborar um plano de desenvolvimento local, que traga alternativas para essas regiões. No próximo capítulo, essa discussão é delineada, sintetizando as contribuições desta tese para a promoção da reconversão produtiva das microrregiões mineradoras de Minas Gerais, atentando-se para as características próprias de cada uma.

5.6. Estratégias de desenvolvimento para as microrregiões mineradas

A apresentação da estratégia de diversificação produtiva individualizada por região se dará a partir dos três caminhos, descritos pelo Programa de Reconversão Produtiva em Territórios Minerados, a saber: 1) Reposicionamento da atividade mineral e adensamento da cadeia produtiva mineral; 2) Estímulo a outras vocações já existentes no território e 3) Estímulo a vocações completamente novas no território. Porém, ao contrário do que determina o programa, a seguir é proposto uma estratégia de diversificação produtiva que combine os três caminhos, ao invés de escolher apenas um dentre eles, especificada para cada uma das regiões.

A estratégia de diversificação produtiva regional proposta está descrita no Quadro 7, a seguir. Esta se inicia com a execução da etapa de planejamento, comum a todas as regiões e que pode ser desenvolvida a nível estadual, em acordo com a iniciativa Transição Justa e com o Programa de Reconversão Produtiva de Territórios Minerados. Consiste em um sistema de inteligência, necessariamente realizado por atores locais e externos ao território.

Antes de qualquer ação de diversificação tomar curso é necessário que seja definido a fonte de financiamento dos recursos e a institucionalização de mecanismos de gestão dos mesmos. A formalização de um fundo de gestão da renda mineral antecede todo o processo. Nessa etapa, é essencial que parte suficientemente grande da renda mineral, incluindo parcela das cotas-partes da CFEM municipal, estadual e federal, mas não apenas, componham os recursos do fundo. Os empreendimentos minerários podem assegurar recursos aos fundos, através de suas instituições, como a Fundação Vale, por exemplo.

A Resolução 43/2001 do Senado Nacional proíbe a antecipação de recebível da CFEM. Este fato é incongruente com a Lei de Responsabilidade Fiscal dos Municípios, que não se opõe à antecipação de CFEM (NAHAS *et al.*, 2019b). A alteração do marco regulatório do setor permite ao empreendedor minerário utilizar o direito de lavra para obter financiamento do

empreendimento. Então, por que o município não pode fazer o mesmo?

Apesar da iniciativa Transição Justa delimitar a possibilidade de obtenção de financiamentos internacionais, junto à União Europeia, por exemplo, ‘não existe almoço grátis’ e possuir recursos monetários adequados e autônomos garante a soberania da região frente a oscilações internacionais da demanda por *commodities* minerárias, além de posicioná-la em melhor colocação frente a negociações internacionais e cooperações técnicas que certamente irão demandar contrapartida de alguma natureza.

No caso das regiões Belo Horizonte e Ouro Preto parte dos recursos financeiros estipulados para executar as ações do TTAC (Termo de Transição e Ajustamento de Conduta) Mariana e do Acordo Judicial para Reparação Integral Relativa ao Rompimento das Barragens B-I, B-IV e B-Iva / Córrego do Feijão, também deve compor o fundo, que pode executar parte das iniciativas e projetos descritos nos documentos supra mencionados, especialmente ações relacionadas a redução de custos de transação (logística e modais de transporte), participação social e fortalecimento da cultura local. Isso, pois, há projetos já definidos em ambos os TTACs que abordam esses temas específicos. Ou seja, basta direcioná-los para o fim da diversificação produtiva.

Os recursos do fundo também serão essenciais para custear gastos com seu próprio corpo técnico e gestor, para implantar iniciativas *smart*, principalmente em seu ciclo inicial e ao desenvolvimento do Estudo de Geodesign e Inteligência Territorial para mapeamento de potencialidades e oportunidades de negócios. Estudo que deverá abordar a localização espacial, dos mercados consumidores, a evolução prevista do uso e ocupação do espaço físico e modelagem ambiental sistêmicas a luz das rotas possíveis de adensamento de complexidade, ou seja, *smart specialization* territorial. Trata-se de uma estratégia que deverá ser implantada no longo prazo, ao longo de décadas.

A região de Conceição do Mato Dentro é a única região minerária de Minas Gerais onde a produção de minério de ferro tende a expandir até 2050, como já mencionado. Trata-se, portanto, de uma “área de mineração”, segundo a classificação da iniciativa Transição Justa. Assim, é relevante instituir iniciativas “*Climate Smart Mining*” e de “*Mining 4.0*”, de maneira a garantir acesso a programas de fomento e recursos internacionais visando transição energética global. Não obstante, é necessário planejar estratégias e implementar ações que procurem conciliar atividades minerárias com a diversificação econômica e o desenvolvimento sustentável. Isso enseja o desenvolvimento de outras vocações existentes no território,

naturalmente prejudicadas pela expansão mineraria, como a agricultura – Ye (2008), Lofgreen, Robinson & Thurlou (2002), Bohlmann *et al* (2015) -.

As atividades de turismo, que fazem parte da Indústria Cultural e Criativa e, por conseguinte, possuem alta complexidade estão presentes nas potencialidades já existentes. O incentivo ao ecoturismo deve ser tomado como objetivo estratégico. Conceição do Mato Dentro abriga o Parque Natural Municipal do Tabuleiro, onde se localiza a Cachoeira do Tabuleiro, maior do estado de Minas Gerais. Em consonância, fomentar as atividades de turismo histórico e religioso, relacionados ao Circuito do Ouro e Circuito do Diamante, em conjunto, com as expressões culturais tradicionais locais, como Festa de Nossa Senhora do Rosário, Folia de Reis e Congados pode contribuir para o fortalecimento das comunidades rurais locais e preservação do patrimônio cultural regional.

O incentivo à produção agroartesanal, orgânica e de leite e laticínios deve compor a estratégia regional, tanto no sentido de suprir o mercado interno, que hoje demanda de Belo Horizonte e regiões adjacentes produtos de hortifruti, quanto para possibilitar a exportação inter-regional. O queijo do Serro é considerado Patrimônio Imaterial da região, tornando-o um produto artesanal único e exclusivo, que já foi agraciado com premiações internacionais.

A região Metropolitana de Belo Horizonte deve assumir o papel de liderança tecnológica e de governança frente ao reposicionamento de Minas Gerais enquanto fornecedor estratégico de recursos naturais renováveis ou não, necessários para a transição energética global. A formação de um *cluster* de tecnologia mineral, de maneira a reunir as *expertises*, o conhecimento tácito e *know how* acumulado no estado, durante séculos de tradição mineral, em conjunto com as redes institucionais pública-privada aglomeradas localmente em Belo Horizonte e Nova Lima e com os esforços de políticas públicas direcionadas a viabilizar iniciativas já existentes como o Programa de Reconversão Produtiva e Transição Justa deve ser o objetivo estratégico prioritária da região. Este parece ser o caminho natural dessa região que hoje concentra a nata do capital intelectual relacionada a mineração no Brasil. Caminho este próximo a trajetória de Pittsburg, segundo registrado por Treado (2009). A experiência Austrália dos METS tem muito a contribuir nessa trajetória, uma vez que permitiu a Austrália adensamento de valor dentro da cadeia mineral e fornecimento global de serviços de ponta.

A consolidação do *cluster* de Economia Cultural e Criativa vem a calhar com outras iniciativas já existentes em Belo Horizonte. Este deverá abarcar, dar suporte e subsídio ao ecossistema de *startups* e empresas de base tecnologia inovativa, incluindo aquelas relacionadas ao

desenvolvimento de sistemas, de inteligência artificial, de software e computação; serviços complexos (consultoria, auditoria, arquitetura, por exemplo); turismo de negócios (Belo Horizonte, Nova Lima e Contagem); turismo rural (Brumadinho) e as atividades culturais, oferecidas nos teatros e espaços de shows e de exposições de Belo Horizonte e em Inhotim, principalmente.

O segmento da agricultura também será considerado, com o incentivo às atividades agroecológicas e de pequenas agroindústrias, principalmente nos municípios de Brumadinho e Mario Campos, que absorveram impactos negativos sobre esse segmento produtivo em função do rompimento da Barragem de Feijão, e possuem produção de alto grau de qualidade de geleias, cervejas artesanais, olericultura, mexericas ponkan, por exemplo, e receberão incentivos agrícola nos próximos anos, atrelados aos projetos de reparação integral.

A região de Itabira poderá ser um *case* internacional de Transição Justa em uma “Área de Legado”. Segundo a iniciativa, caracterizada como localidade onde a atividade de mineração fechou ou irá fechar, no curto prazo. Nesse sentido, são necessárias ações de “reconversão do território” aproveitando as vocações econômicas, sociais e ambientais locais e restaurando o que for preciso. Trata-se de um fenômeno completamente novo em Minas Gerais. Por se tratar da cidade berço da Vale S.A. espera-se que Itabira seja feita de modelo de encerramento respeitoso das jazidas. Há aí muitas oportunidades de implantação de novas tecnologias no Brasil, tais como, mineração e aproveitamento econômico dos rejeitos e recuperação de passivos ambientais legados pela mineração. A utilização de minas a céu aberto inativas enquanto espaços de implantação de projetos de energia renovável deve ser considerado, conforme ocorrido nas experiências alemãs. Espera-se que novas tecnologias sejam testadas neste território. Isso abre caminho para esforços estruturantes direcionados à incorporação de ciclos de aprendizado técnico e formação de mão de obra local em capacidades e competências específicas a esse ciclo de negócios – descomissionamento de barragens de rejeito, recuperação de áreas de legado de mineração e uso futuro de *brownfields* -.

A continuação da operação Mina de Brucutu, para além de 2050, também enseja a implantação de iniciativas *Climate Smart Mining*, dado que a empreendedora, Vale S.A., poderá ser cobrada, por parte de seus investidores, em alcançar certificações *smarts* internacionais, anteriormente ao ano de 2050.

O adensamento de valor dentro da cadeia minero-metalúrgica é um desafio posto ao estado de Minas Gerais. Frente a concorrência chinesa, que garante fornecimento suficiente de aço ao

redor do mundo, fornecer produtos do aço no mercado transoceânico global deve ser visto com cautela. A escolha de nichos específicos deve ser um objetivo estratégico, no qual o Estudo de Geodesign e Inteligência Territorial pode contribuir.

Dentro das vocações já existentes no território, destacam-se a infraestrutura logística, a indústria têxtil e o turismo histórico. Devido à localização privilegiada da região de Itabira, no contexto de Minas Gerais e a relativa disponibilidade de modais de transportes regionais deve-se considerar iniciativas de fomento às atividades de logística, transportes de cargas e fretes. A experiência alemã comprova que é possível converter as infraestruturas existentes, que apoiavam a mineração, para outros segmentos, incluindo atividades logísticas. A indústria têxtil, dotada de alta complexidade, pode ser incentivada como alternativa de diversificação produtiva e também como eixo norteador da valorização do patrimônio cultural e das expressões tradicionais locais. A tecelagem tradicional está associada aos municípios de Barão de Cocais, Catas Altas e Santa Barbara, principalmente.

O turismo histórico e religioso pode ser fomentado, utilizando enquanto marcos principais o Santuário do Caraça e a comunidade tricentenária de Brumal, além do festival da Cerveja Artesanal, Cavalhada e outras expressões culturais locais.

A região de Itaguara que, de acordo com as simulações implementadas, seria impactada pela redução drástica da produção de minério de ferro, superior a 90% até 2050, estaria sujeita a impactos adversos sobre as atividades a jusante da cadeia minero-metalúrgica. Isso, caso o descomissionamento e descaracterização das barragens de rejeito afetassem a decisão locacional das siderúrgicas em permanecer no território. Nesse caso, pouco poderia ser feito para adensar valor a cadeia produtiva minero-metalúrgica, pelo menos no curto prazo. Ainda assim, a estratégia de reconversão produtiva aqui descrita incorpora as possibilidades de evolução dentro dessa cadeia, dado que se trata de um exercício relevante ao entendimento das alternativas que se apresentam a região.

Nessa linha, o adensamento de valor dentro da cadeia minero-metalúrgica poderá incluir esforços estruturantes com o objetivo estratégico de instituir um arranjo produtivo local do setor Máquinas para a Extração Mineral e Construção. Trata-se de um grande desafio. A produção de máquinas e equipamentos é considerada atividade de alta complexidade, de precisão e com tecnologia de ponta embutida. Esse segmento é dominado por países como Alemanha, Áustria e Estados Unidos. O adensamento de valor junto as atividades de metalurgia e siderurgia também é uma possibilidade.

Como caminho alternativo, destaca-se o desenvolvimento das atividades de agronegócio, vinculadas ao segmento de produtos de carne, bovinos, suínos e aves, além do setor Leite Resfriado, Esterilizado e Pasteurizado.

Quadro 7. Estratégia de Diversificação produtiva Regional

ETAPA	REGIAO					
	CONCEICAO	BELO HORIZONTE	ITABIRA	ITAGUARA	OURO PRETO	CONS. LAFAIETE
PLANEJAMENTO	Modelo de Governança e acesso a financiamento Fundo de Gestão da Renda Mineral Regional Estudo de Geodesign e Inteligência Territorial					
CAMINHO						
1) Reposicionamento da atividade mineral e adensamento da cadeia produtiva mineral	<i>Climate Smart Mining</i>	Cluster de Tec. e Serviços Minerais	<i>Climate Smart Mining</i> Polo de ensino associado a mineração Metalurgia e Siderurgia	Metalurgia e Siderurgia Maquinas para a Extração Mineral	Metalurgia e Siderurgia P&D Mineral	Metalurgia e Siderurgia. Intercâmbios internacionais
2) Estímulo a outras vocações já existentes no território	Ecoturismo e Turismo de Base Comunitária Turismo Histórico Agroartesanais Leite e Queijos Produção orgânica Depende do GDIT Expressões culturais tradicionais	Cluster da Indústria Cultura e Criativa Empresas de base tecnologia inovativa Serviços Complexos Turismo de Negócios Turismo Rural Agroindústria Agroecologia	Logística Turismo Histórico Tecelagem Artesanal e Indústria Têxtil Expressões culturais tradicionais	Bovinos e Produtos de Carne Laticínios e Leite	Polo de ensino superior Turismo Histórico Ecoturismo Turismo Cultural	Reparo e manutenção de maq. e equipamentos Turismo Histórico Turismo Religioso Turismo Arquitetônico Turismo de Mineração
3) Estímulo a vocações completamente novas no território	Depende do Estudo de Geodesign e Inteligência Territorial					

Fonte: elaboração própria.

A região de Conselheiro Lafaiete seria severamente afetada caso o cenário estabelecido se confirmasse. Mais de 90% de sua produção de minério de ferro seria paralisada. Contudo, é relevante discutir o adensamento de valor dentro da cadeia minero-metalúrgica, dado que a paralisação da produção não afetaria diretamente as atividades siderúrgicas do Grupo Gerdau. Nessa região, também há possibilidades de adensamento de valor dentro da cadeia minério-metalúrgica direcionados ao estabelecimento do arranjo produtivo de reparo e manutenção de máquinas e equipamentos, em apoio a indústria pesada.

A região possui instrumentos de governança regional formados, CODAP e Geopark, e intercâmbios com outras experiências de reconversão produtiva, a região de Nord-Pas de Calais. O turismo deve ser incentivado, uma vez que está em curso a avaliação do pedido de reconhecimento da região do Alto Paraopeba enquanto Patrimônio Histórico da Humanidade. Há também vasto acervo arquitetônico e histórico, incluindo construções decorativas do barroco mineiro. A região ainda abriga o Santuário do Senhor Bom Jesus de Matozinhos, elevado em 1985 pela UNESCO a Monumento Cultural da Humanidade.

A região de Ouro Preto seria a mais prejudicada, caso os cenários estipulados se confirmassem. Isso significaria absorver variação negativa de 85 (p.p) de seu PIB real projetado, em relação ao cenário base, em decorrência da redução de mais de 90% de sua produção de minério de ferro. Fato esse que não invalida o adensamento de valor na cadeia minero-metalúrgica, enquanto estratégia de diversificação produtiva. Felizmente, as atividades a jusante da mineração não seriam diretamente afetadas. Além disso, todo o histórico +de mineração, fundamentado ao longo de séculos de tradição minerária, deve ser utilizado rumo a um novo paradigma desenvolvimentista, que inclua, finalmente, processos sustentáveis e com compartilhamento de benefícios para todos os envolvidos.

Nesse contexto, incentivar as atividades de P&D mineral, em consonância com as necessidades de desenvolvimento tecnológico aplicado ao aproveitamento de rejeitos de mineração e recuperação de passivos ambientais, vivenciadas pela área afetada pelo rompimento da barragem de Fundão e suportadas pelo conhecimento acumulado na Escola de Minas (UFOP) é um objetivo estratégico regional. O apoio as atividades de siderurgia e metalurgia será essencial, no curto e médio prazo. Tradicionalmente, a região de Ouro Preto é um polo de ensino superior. Essa habilidade deve ser incentivada e fomentada.

Aproveitar e direcionar os esforços de reparação descritos no TTAC em favor da estratégia de diversificação produtiva regional, incluindo a captação de recursos monetários para o fundo de gestão da renda mineral também deve ser discutido.

Por último, desenvolver as atividades de turismo de amplo espectro deve ser um objetivo estratégico. Incluindo a realização de eventos culturais, como festivais de cinema, festivais de literatura, festivais gastronômicos; o turismo histórico e o ecoturismo, que pode ser apoiado no acervo de museus, monumentos, igrejas e estruturas centenárias, contidas no município, tombado como Patrimônio da Humanidade, pela UNESCO.

A discussão do modelo de um pós-mineração que seja adequado para o estado de Minas Gerais está lançada. Ainda que os cenários e simulações aqui expostos não se confirmem, a importância de consolidar mecanismo de planejamento, minimamente estruturados e alinhados com os movimentos globais de transição energética e iniciativas *smarts* são de suma urgência para o desenvolvimento econômico sustentável das regiões minerárias de minério de ferro de Minas Gerais.

Conclusão

No caso das regiões minerárias de Minas Gerais, a predominância da indústria extrativa é nítida, de acordo com a base de dados construída e com as simulações realizadas. Mais ainda, os impactos econômicos potenciais de derivados de uma desaceleração da indústria extrativa mineral do ferro, nas regiões minerárias de Minas Gerais, seriam expressivos. Em 4 regiões haveria redução do PIB real superior a 50 p.p. (Itabira, Ouro Preto, Congonhas e Itaguara).

É sabido que economias de base extrativa mineral tendem a possuir *linkages* intersetoriais reduzidos, tanto a montante quanto a jusante. Isso se intensifica quanto maior o hiato tecnológico entre o empreendimento e o território anfitrião. Em 5 das 6 regiões minerárias de Minas Gerais há também a presença de atividades a jusante na cadeia mineral. Fator esse importante para que a região possa escapar da “armadilha do produto básico”. Porém, não suficiente. Basta analisar a situação na qual se encontra a microrregião de Ouro Preto. Região riquíssima em bens minerais. Essa microrregião passou pelo Ciclo do Ouro e do Diamante e ainda assim é a microrregião mais dependente da atividade minerária. O que pode indicar que o crescimento regional relacionado a mineração não atingiu a diversificação produtiva de sua base de exportação primordial, tal como preconizado por North (1955).

Os *linkages* fiscais que são gerados nas atividades extrativas poderiam ser um mecanismo de desenvolvimento regional, enquanto vetor de efetivação de investimentos contracíclicos frente a formação de enclaves produtivos e vazamento da renda regional. Não há, porém, políticas públicas orientadas ao aprofundamento produtivo em cadeias próximas e ao desenvolvimento regional, de forma a minimizar a dependência dessa matriz econômica. Ao mesmo tempo, a indústria extrativa mineral consome os fatores produtivos mais qualificados e impõe limites ao desenvolvimento de outras cadeias produtivas, principalmente nas regiões menores, como é o caso da agricultura no município de Conceição de Mato Dentro.

A exploração dos recursos minerais em Minas Gerais está intimamente relacionada ao norte teórico da sustentabilidade fraca, na qual a conversão de capital natural em capital manufaturado ocorreria sem restrições, desde que assegure patamares de bem-estar e de qualidade de vida para as gerações atuais e futuras. Porém, não há nenhum mecanismo regulatório ou de gestão que ordene a equidade intergeracional. A própria mudança do marco regulatório de mineração é falha nesse sentido. As restrições de uso da CFEM, que não foram alteradas nas recentes mudanças regulatórias, tampouco contribuem para esse fim. Mais ainda,

o processo de desenvolvimento das regiões minerárias ocorreu, de fato, sem planejamento ou estrutura de governança / políticas públicas normativas ou investimentos estruturantes que garantissem a conversão da riqueza mineral - utilizada sem restrições ou limites de segurança ambiental, nem equidade intergeracional - em riqueza alternativa. Esse fato é exposto frente ao cenário de desaceleração da indústria extrativa mineral que afeta de forma considerável os indicadores macroeconômicos projetados para 2050, de 4 dentre 6 regiões minerárias estudadas.

Hartwick (1977) afirma que as rendas minerais deveriam ser usadas em investimentos que gerem riqueza alternativa e, para isso, é necessário financiamento. Dessa forma, urge a instauração de fundos regionais de captação e gestão da renda mineral e instrumentos de governança desses territórios.

Ainda que de suma importância, “tampar” o buraco deixado pela possível desaceleração da mineração no momento presente, com medidas fiscais expansionistas e investimentos sociais de amplo espectro, planejar uma trajetória *smart* e com adensamento da complexidade do espaço de produtos regionais é condição para o desenvolvimento sustentável regional. A trajetória de desenvolvimento a partir do segmento econômico de turismo está presente em diversos processos de *smart specialization*, a partir do legado de mineração. O turismo é também uma vocação existente em 5 das 6 regiões minerais, com exceção de Itaguara, e atividades pertencentes ao segmento aparecem como alternativas de diversificação produtiva para outras 3 (Conceição do Mato Dentro, Ouro Preto e Conselheiro Lafaiete) das 6 regiões minerárias de minério de ferro de Minas Gerais.

As proposições de Sardinha, Craveiro & Milheiras (2013) e da iniciativa Transição Justa (FGV, 2020) contribuem sobremaneira. Ambas tratativas incluem no processo de desenvolvimento sustentável outras dimensões para além da econômica. A recomendação conjunta de recuperação e valorização do capital natural e amenidades paisagísticas e ambientais locais, aliada a valorização do patrimônio e atividades culturais ensejam, primeiramente, incentivo a recuperação do passivo ambiental, principalmente nas regiões de legado de mineração. Esse é o caso de Itabira, aonde há elevada concentração de legado mesclado com espaço urbano. A cidade se desenvolveu em meio as barragens de mineração que convivem com o espaço urbano municipal.

Após os recentes rompimentos de barragens de rejeito e dos acionamentos das sirenes de alerta, posteriormente, há grande preocupação com a recuperação dessas áreas de mineração. Nesse sentido, direcionar os esforços e recursos financeiros distribuídos pelo TTAC (Termo de

Transição e Ajustamento de Conduta) Mariana, relacionado a região de Ouro Preto, e pelo Acordo Judicial para Reparação Integral Relativa ao Rompimento das Barragens B-I, B-IV e B-IVA / Córrego do Feijão, relacionado a região de Belo Horizonte, que contém o município de Brumadinho, para a recuperação ambiental e paisagística, em conjunto com a valorização da cultural local e fortalecimento comunitário podem contribuir para a estratégia de diversificação produtiva regional, já que possibilitaria o adensamento de outras cadeias produtivas, como o turismo e a agropecuária. Contudo, é necessário introjetar a natureza desses recursos. Em ambos os casos se trata de recursos monetários direcionados a reparação integral dos territórios, instituições e pessoas atingidas. Em outras palavras, os pacotes de investimentos alocados nos TTACS de Mariana e Brumadinho não se relacionam, especificamente, a diversificação produtiva.

O compartilhamento de resultados para com as comunidades do entorno do empreendimento minerador, propiciando desenvolvimento territorial, deve ser estabelecido nas medidas compensatórias e contrapartidas contidas nos processos de licenciamento ambiental / fechamento de minas dos empreendimentos minerários existentes e futuros. Porém, essas iniciativas precisam se reestruturar de maneira a viabilizar de fato processos participativos e de empoderamento dos atores locais, ao invés do *status quo*, no qual compõem o rol de documentação técnica obrigatória, de entendimento árido para a comunidade e com acesso dificultado, onde as audiências públicas e oficinas podem ser utilizadas para confirmação das decisões internas das companhias com consentimento da administração pública, em detrimento da construção coletiva e colaborativa. Isto aliado ao entendimento de que a renda mineral deve ser destinada ao desenvolvimento social, que não ocorre de forma automática em decorrência da implantação / expansão do empreendimento minerário, pode contribuir ao redesenho do território.

O redesenho produtivo, incluindo elementos legados pela indústria extrativa mineral que permitam a evolução facilitada para cadeias com maior proximidade, nas quais se enquadram o adensamento e agregação de valor na indústria extrativa mineral (incluindo desenvolvimento de atividades a jusante, de metalurgia / siderurgia), o agronegócio, cadeias intensivas no uso de infraestrutura, e a valorização do patrimônio cultural e das instituições de ensino, são elementos facilitadores de trajetórias exitosas rumo ao desenvolvimento de territórios com mineração. Em consonância, nas regiões de Belo Horizonte, e Ouro Preto estão identificadas atividades de P&D relacionadas a tradição mineral. Isso facilita a adoção de estratégias *smart*, onde há aproximação dos empreendedores locais com a academia de maneira a proporcionar o

aproveitamento do sistema de inovação local e seus recursos para aproveitar oportunidades de mercado. Esse caminho já está se configurando em Belo Horizonte, região diversificada e que apresenta indícios da formação de um cluster tecnológico de mineração, que deve ser apoiada para seu pleno estabelecimento.

A definição de estratégias, incluindo uma etapa de planejamento, desenvolvimento de modelo de governança, engajamento dos *stakeholders* e lideranças comunitárias locais no processo participativo e acesso a linhas de financiamento, é um fator crítico. Isso por que, o fluxo natural instaurado nas regiões minerárias de Minas Gerais parece se relacionar ao fortalecimento do setor exportador, na “relutância” em desenvolver intencionalmente os setores domésticos e no “vício” da renda do produto primário. Durante a crise das commodities (anos de 2013 a 2015) foi observada a redução da participação na economia da mineração, em Minas Gerais, e o crescimento da participação de produtos como o algodão e o café, também produtos primários, direcionados a exportação (Nahas et. al, 2019). Esse fato pode indicar que a mentalidade exportadora, que subjuga o desenvolvimento local a fatores externos ao seu território e ao seu domínio, ainda predomina no sistema econômico mineiro. Decorre que a iniciativa Transição Justa e o Programa de Reconversão produtiva de Territórios Minerados têm muito a contribuir. Se por um lado, a Transição Justa traz a experiência alemã exitosa, que precisa ser adaptada ao ambiente político-institucional mineiro, o Programa de Reconversão produtiva de Territórios Minerados fornece a operacionalização, instrumentos de gestão e a capilaridade regional, possibilitada pela atuação do SEBRAE – MG, principalmente, para implementar o modelo de governança participativa e colaborativa que será construído. A união dos dois esforços institucionais é ponto chave para a diversificação produtiva dessas regiões.

A iniciativa Transição Justa também aborda o elemento inovativo e tecnológico como necessário à competitividade do território e desenvolvimento dos atores locais. Nesse aspecto, a implantação de *clusters* e arranjos produtivos regionais, que possibilitem ecossistemas de fertilização cruzada de ideias e transbordamentos de conhecimentos tácitos entre agentes econômicos com acervo informacional e *expertises* distintos, em conjunto com acesso a linhas de financiamento internacional, está em consonância com as possibilidades de diversificação produtiva para as regiões de Belo Horizonte e Ouro Preto e, secundariamente, Itabira e Conselheiro Lafaiete.

Como agenda futura, pode-se estabelecer simulações de cenários estipulados pelo Programa de Reconversão Produtiva. Este encontra-se na fase de aplicação de seu primeiro piloto, no município de Itabira. Trata-se de um processo participativo e que valoriza a autonomia e empoderamento local. Deste modo, a seleção de objetivos e setores estratégicos, que poderão ser incentivados, em momento posterior, será feita pelos atores locais. A simulação dos impactos do caminho delimitado pode oferecer luz frente aos resultados pretendidos, contribuindo, de forma concreta para a implantação de uma estratégia de reconversão produtiva planejada e com maior potencial de sucesso. A incorporação dos impactos da redução da arrecadação de CFEM também compõe a proposta de pesquisas futuras associadas ao tema abordado.

Em função da magnitude dos impactos regionais frente à desaceleração da Indústria Extrativa Mineral de Minério de Ferro, urge tratar com seriedade e compromisso o planejamento do desenvolvimento regional dessas regiões. Ainda que em um futuro próximo não se confirme o cenário simulado nesta tese, o risco de redução do ritmo de crescimento desse setor é uma ameaça à manutenção do nível de bem-estar da sociedade mineira e deve, portanto, ser analisado com cautela. Assim como Minas Gerais vivenciou o apogeu e decadência dos ciclos do Ouro e Diamante, o mesmo acontecerá com o Ferro, mais cedo ou mais tarde. Espera-se, no entanto, que a sociedade mineira tenha, até lá, aprendido com os erros do passado, e utilizado a sua riqueza mineral para contribuir com a prosperidade sustentada do povo mineiro.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA BRASIL. Minas tem 42 das 45 barragens de mineração interditadas no país. Caderno Giro. 20 out. 2020. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/minas-tem-42-das-45-barragens-de-mineracao-interditadas-no-pais/>. Acessado em: 26 jan. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Nota técnica nº 05/2019 - GSBM/SPM/ANM-LPN/ESGJ. Brasília, 15 fev. 2019. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/noticias/2019/nota-explicativa-sobre-tema-de-seguranca-de-barragens-focado-nas-barragens-construidas-ou-alteadas-pelo-metodo-a-montante-alem-de-outras-especificidades-referentes/nota_tecnica-n-05_2019_resolucao_anm_barragens_montante.pdf. Acesso em: 09 dez. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Produção mineral bruta e beneficiada por município, 2010 a 2018. Disponibilizado pela Agência Nacional da Mineração em resposta a manifestação no sistema Fala.Br, no dia 19/10/2020, Protocolo: 00137.017487/2020-76.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Sistema de Arrecadação CFEM. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem.aspx. Acessado em: 17 dez. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SIGMINE. Disponível em: <http://antigo.anm.gov.br/portal/assuntos/ao-minerador/sigmine>. Acessado em: 18 dez. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração Público. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/sigbm/publico>. Acessado em: 17 dez. 2020.

ALASKA PERMANENT FUND CORPORATIN. An Alaskan's guide to the Permanent Fund. Juneau: Alaska Permanent Fund Corporation, [2020]. Disponível em: <https://online.fliphtml5.com/xkbok/fjhk/>. Acessado em: 05 mar. 2021.

ALBERTA HERITAGE SAVINGS TRUST FUND. Historical Timeline. Edmonton: Alberta Heritage Savings Trust Fund, 2 mar. 2021. Disponível em: <https://open.alberta.ca/dataset/80ee4142-17f2-4bc7-b30b-18afd3dfe5c8/resource/1c95d123-fa1d-49e3-ad25-98599aba2fb4/download/heritage-fund-historical-timeline.pdf>. Acessado em: 05 mar. 2021.

AMOSHA, Oleksandr; LYAKH, Oleksandr; SOLDAK, Myroslava; CHEREVATSKYI, Danylo. Institutional Determinants of Implementation of the Smart Specialisation Concept: Case for Old Industrial Coal-Mining Regions in Ukraine. Journal of European Economy, Vol. 17, n. 3, 665, jul.-set. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce: Rompimento da Barragem em Mariana/MG. 2015. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf.

ANDRADE, Naiana; COLODETI, Elisangela; ADAID, Mariana Bontempo. Quase dois anos depois, familiares de 11 vítimas de Brumadinho ainda não velaram seus mortos. National Geographic, 2 nov. 2020. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/historia/2020/10/quase-dois-anos-depois-familiares-de-11-vitimas-de-brumadinho-ainda-nao-velaram>. Acesso em: 09 dez. 2020.

ANGLOAMERICAN. 2019 Results. Investor Relations. 20 fev. 2020. Disponível em: <https://www.angloamerican.com/~media/Files/A/Anglo-American-Group/PLC/media/presentations/2020pres/fy-19-results-presentation.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2020.

ANGLOAMERICAN. Ore Reserves and Mineral Resources Report 2019. London, 2020. Disponível em: <https://www.angloamerican.com/~media/Files/A/Anglo-American-Group/PLC/investors/annual-reporting/2020/aa-ore-reserves-and-mineral-resources-2019.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2020.

ARCELORMITTAL. Fact Book 2019. Luxembourg, abr. 2020. Disponível em: <https://corporate-media.arcelormittal.com/media/1vzlnrtz/arcelor-mittal-fact-book-2019.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2020.

ATLAS OF ECONOMIC COMPLEXITY. Country & Product Complexity Rankings. Growth Lab, Center for International Development, Harvard University. Disponível em: <https://growthlab.cid.harvard.edu/publications/country-diversification-product-ubiquity-and-economic-divergence>. Acessado em: 04 fev. 2021.

AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS. Business Resources Devoted to Research and Experimental Development (R&D). 2017. Disponível em: <<https://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/Lookup/8104.0Main+Features12017-18?OpenDocument>>. Acessado: 12 ago 2020.

AUTY, R.; WARHURST, A. Sustainable development in mineral exporting economies. *Resources Policy*, v. 25, 1993.

AZEVEDO, Ú. R. Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO. Ph.D. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2007.

BATISTA, Renata. Vale começa a operar a primeira mina do País com caminhões autônomos. O Estado de São Paulo, 11 set. 2018. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,vale-comeca-a-operar-a-primeira-mina-do-pais-com-caminhoes-autonomos,70002496527>. Acessado em: 09 nov. 2020.

BECKER, L. C. Tradição e modernidade: o desafio da sustentabilidade do desenvolvimento na Estrada Real. 2009. Tese (Doutorado). IUPERJ, Rio de Janeiro.

BOHLMANN, H. R.; VAN HEERDEN, J. H.; DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. The impact of the 2014 platinum mining strike in South Africa: An economy-wide analysis. *Economic Modelling*, n. 51, 2015, pp. 403–411.

BOSCH A.; VONORTAS N. Smart Specialization as a Tool to Foster Innovation in Emerging Economies: Lessons from Brazil. *Foresight and STI Governance*, vol. 13, n. 1, p. 32–47, 2019.

BOWKER, L. N.; CHAMBERS, D. M. The risk, public liability & economics of tailings storage facility failures. p. 1–56, 2015.

BRANDÃO, Raquel. Petrobras inicia fase vinculante de venda da refinaria Gabriel Passos. *Valor Econômico, Caderno Empresas*, 20 dez. 2019. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2019/12/20/petrobras-inicia-fase-vinculante-de-venda-da-refinaria-gabriel-passos.ghtml>. Acessado em: 03 fev. 2021.

BRASIL. Lei Nº 13.540, de 18 de dezembro de 2017. Altera as Leis n º 7.990, de 28 de dezembro de 1989, e 8.001, de 13 de março de 1990, para dispor sobre a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). Brasília, 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13540.htm.

BRASIL. Resolução nº 04, de 15 de fevereiro de 2019. Agência Nacional da Mineração / Ministério de Minas e Energia. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/63799094/do1-2019-02-18-resolucao-n-4-de-15-de-fevereiro-de-2019-63799056. Acesso em: 09 dez. 2020.

BRASIL. Resolução nº 13, de 8 de agosto de 2019. Agência Nacional da Mineração / Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-13-de-8-de-agosto-de-2019-210037027#:~:text=Estabelece%20medidas%20regulat%C3%B3rias%20objetivando%20assegurar,desconhecido%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias>. Acesso em: 10 dez. 2020.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. COMISSÃO PARLAMENTAR DE INQUÉRITO: ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE BRUMADINHO. Brasília, 2019. Disponível em: <https://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/wp-content/uploads/sites/41/2019/11/RELAT%C3%93RIO-CPI-BRUMADINHO.pdf>. Acessado em: 31 jan. 2021.

CARNEIRO, K. Mais seis empreendedores são beneficiados com recursos do FMDS em Canaã dos Carajás. Notícias, Prefeitura Municipal de Canaã dos Carajás. 23 jun. 2020. Disponível em: https://www.canaadascarajas.pa.gov.br/novo/2020/06/23/mais-seis-empreendedores-sao-beneficiados-com-recursos-do-fmds-em-canaa-dos-carajas/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=mais-seis-empreendedores-sao-beneficiados-com-recursos-do-fmds-em-canaa-dos-carajas. Acessado em: 06 fev. 2021.

CARVALHO, José Murilo. A Escola de Minas de Ouro Preto. O peso da glória. 2002. Disponível em: <https://static.scielo.org/scielobooks/7j8bc/pdf/carvalho-9788579820052.pdf>. Acessado em: 03 fev. 2021.

CARVALHO, Micaele Martins de; MAGALHÃES, Aline Souza; DOMINGUES, Edson Paulo. Impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial em Minas Gerais. Nova Economia, v.29, n.2, 2019.

CARVALHO, Terciane Sabadini. Uso do solo e desmatamento nas regiões da Amazônia Legal brasileira: Condicionantes econômicos e impactos de políticas públicas. (Tese de doutorado). Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional/CEDEPLAR, Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2014.

CENTRO INDUSTRIAL E EMPRESARIAL DE MINAS GERAIS. Cadastro Industrial. Disponível em: <https://www.cadastroindustrialmg.com.br:449/>. Acessado em: 31 jan. 2020.

CLEMENTS, Kenneth W.; AHAMMAD, Helal; YE, Qiang. New mining and mineral-processing projects in Western Australia: Effects of employment and the macro-economy. Resources Policy, v. 22, Issue 4, December 1996, pp. 293-346.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. Form 20-F. Washington, D.C., 2 abr. 2020. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/mz-filemanager/29633c00-23f7-4765-9594->

926012179477/6a7f628f-f63a-4cba-be58-1119543282fe_csn_20f_sec_21072020.pdf. Acesso em: 10 dez. 2020.

CONESA, M.; SCHULIN, R.; NOWACKA, B. Mining landscape: a cultural tourist opportunity or an environmental problem? The study case of Cartagena: La Unión Mining District (SE Spain). *Ecological Economics*, n. 64, 2008, pp. 690-700.

CONEXÃO MINERAL. Vale inaugura planta-piloto de concentração a seco por separação magnética. *Conexão Mineral*, 16 jul. 2020. Disponível em: <http://www.conexaomineral.com.br/noticia/1653/vale-inaugura-planta-piloto-de-concentracao-a-seco-por-separacao-magnetica.html>. Acessado em: 09 nov. 2020.

CONRAD, J. *Resource Economics*. New York: Cambridge University Press, 1999.

ĆOPIĆ, S.; ĐORĐEVIĆ, J.; LUKIĆ, T.; STOJANOVIĆ, V.; ĐUKIČIN, S.; BESERMENJI, S.; STAMENKOVIĆ, I.; TUMARIĆ, A. Transformation of Industrial Heritage - an Example of Tourism Industry Development in the Ruhr Area (Germany). *Geographica Pannonica* Volume 18, Issue 2, 43-50 (June 2014).

COSTA, C. G.; FERNANDES, F. R. C. Governança e Responsabilidade Social Empresarial: a necessária convivência. *Projeto Santo Amaro-BA*, p. 42, 2013.

COSTA, Marco Aurélio; ALMEIDA, Luiz Felype Gomes de; GUERRA, Maria de Fátima Lage; GARCIA, João Paulo Gonzaga; SANTOS, Rodrigo Marques dos. Uma Investigação sobre a Minerio-Dependência em Brumadinho-MG: As Metáforas do Processo de Formação e da Dinâmica Econômica Local. Texto de discussão 2603. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, outubro de 2020. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10292/1/td_2603.pdf. Acessado em: 31 jan. 2021.

COUTINHO, Mauricio C. Economia de Minas e economia da mineração em Celso Furtado. *Nova Economia*: n. 3, v.18, set.-dez. 2008, pp. 361-378.

CRAVEIRO, D., DIAS-SARDINHA, I., MILHEIRAS, S. Industrial heritage tourism as the trigger for local development of a post-mining area in the southeast of Portugal: perceptions from the visited and the visitors. In: FIGUEIREDO, Elisabete; RASCHI, Antonio (Eds.). *Fertile Links? Connections between Tourism Activities, Socioeconomic Contexts and Local Development in European Rural Áreas*. Florence University Press Book. 2013.

CROCCO, M. A.; GALINARI, Rangel; SANTOS, Fabiana; LEMOS, Mauro Borges; SIMÕES, Rodrigo. Metodologia de identificação de aglomerações produtivas locais. *Nova Economia*, 16(2), 2006.

DÄHNERT, D.; KENDZIA, G.; WÜSTENHAGEN, D. New aspects of restoring the post-mining landscape in the Lusatian lignite mining area. *World Min. Surf. Undergr.* vol. 56, p. 348 – 359, 2004.

DALY, Alica; VALACCHI, Giulia; RAFFO, Julio. Mining patent data: Measuring innovation in the mining industry with patents. *Economic Research Working Paper No. 56*. World Intellectual Property Organization, mai. 2019.

DALY, Herman E. Crescimento Sustentável? Não, obrigado. In.: MANDER, Jerry; GOLDSMITH, Edward. *Economia global e economia local – a controvérsia*. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

DAVIES, M.; MARTIN, T. Mining market cycles and tailings dam incidents. Proceedings of the 13th International Conference on Tailings and Mine Waste. Anais...2009.

DE CASTRO, A. L. C. Manual de planejamento em defesa civil. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, 1999.

DIAS, Maria Tereza Fonseca; FRATTARI, Rafael. Novo Marco Legal do Setor Mineral: Avanços e Retrocessos das Propostas Legislativas Contemporâneas de Alteração do Código Minerário Brasileiro. Rev. Brasileira de Filosofia do Direito, v.6, n. 1. p. 173-193. Jan / jun 2020.

DIXON, P. B.; PARMENTER B. R.; SUTTON, J. M.; VINCENT D. P. ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy. Amsterdam: North-Holland, 1982. 372 p.

DOMINGUES, E. P.; BETARELLI A. A. J.; MAGALHÃES, A. S.; OLIVEIRA, H. C.; VALLADARES, L.M. Calibragem do Modelo ORANIG para os Dados da Matriz Insumo-Produto Nacional (2005). Relatório Técnico de Pesquisa. CEDEPLAR/UFMG, out. 2009, 33 p.

DOMINGUES, E. P. Dimensão Regional e Setorial da Integração Brasileira na Área de Livre Comércio das Américas, 2002, 222 p. (Tese de Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHAES, A. S.; FARIA, W. R. Infraestrutura, crescimento e desigualdade regional: projeção dos impactos dos investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) em Minas Gerais. Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 39, n. 1, 2009.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S.; CARDOSO, D. F.; SIMONATO, T. C.; NAHAS, M. Impactos econômicos da paralisação de parte da produção mineral em Minas Gerais decorrentes do desastre de barragem em Brumadinho. Gestão & Sociedade, v. 14, n. 38, mai./ago. 2020, pp. 3462-3479.

DURRANT-WHYTE, Hugh; GERAGHTY, Ryan; PUJOL, Ferran; SELLSCHOP, Richard. Mining's next performance horizon: Capturing productivity gains from innovation. Metals and Mining, set. 2015.

ENRIQUEZ, M. A. R. S. Mineração: maldição ou dádiva? Os dilemas do desenvolvimento sustentável a partir de uma base mineira. São Paulo: Editora SIGNUS, 2008

ENRIQUEZ, Maria Amélia Rodrigues da Silva. Equidade intergeracional na partilha dos benefícios dos recursos minerais: a alternativa dos Fundos de mineração. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, v. 5, pp. 61-73, 2006.

ERTEN, B.; Ocampo, J.A. Supercycle of commodity prices since the mid Nineteenth century. Department of Economic Social Affairs/DESA. Unit Nations. Working Paper, n.110., 2010.

EUSTÁQUIO NETO, S. Avaliação mínero-geoambiental da mina de Gongo Soco para fins de descomissionamento – propostas. 2008. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3230>. Acessado em: 02 fev. 2021.

FARIA, W. R.; HADDAD, E. A. Estimação das elasticidades de substituição do comércio regional do Brasil. Nova Economia, v. 24, n. 1, p. 141–168, 2014.

FARKOUH, George. (1999). "Never Say Die": Seven Years Later, Elliot Lake Enjoys New Business and Renewed Optimism. In.: MAWHINEY, Anne-Marie (Ed.); PITBLADO, Jane (Ed.). (1999). *Boom Town Blues: Elliot Lake Collapse and Revival in a Single-Industry Community*. Toronto: Dundur Press, 1999. cap.13, p. 188 - 196.

FAUCHEUX, Sylvie; NÖEL, Jean-Fraçois. *Economia dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente*. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

FERRAND P. L'or a Minas Geraes. *Imprensa Official do Estado de Minas Geraes*, Belo Horizonte, 1894, v. II.

FERREIRA, Alessandro. Fundo Soberano atinge R\$ 274 milhões em mais de um ano. Prefeitura de Maricá, 17 de jan 2020. Disponível em: <<https://www.marica.rj.gov.br/2020/01/17/fundo-soberano-de-marica-atinge-r-274-milhoes-em-mais-de-um-ano/>>.

FERREIRA, Marcilene Aparecida. *Mineração, direito humano e da natureza à água: estudo do conflito ambiental na Serra do Gandarela*. 2013. 225 f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental) – Escola Superior Dom Helder Câmara, Belo Horizonte.

FIGUEIREDO, Artur Magnani. *O resgate da centralidade da Mina Grande em Nova Lima [manuscrito]: história, memória e desenvolvimento*. Universidade Federal de Minas Gerais, 2017. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura. 152 f. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MMMD-AUWLR5/1/disserta__o_final.pdf. Acessado em: 26 jan. 2021.

FIOCRUZ. *Avaliação dos Impactos Sobre a Saúde do Desastre da Vale (Brumadinho MG)*. Nota Técnica. 2019.

FISHER, Antony C. *Resources and environmental economics*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1981.

FONSECA, F.P.; RAMOS, R.A.R. Heritage tourism in peripheral areas: development strategies and constraints. *Tourism Geographies*, 2011, v. 14, n. 3; pp. 467-493.

FORAY, D.; GODDARD, J.; GOENAGA BELDARRAIN, X.; LANDABASO, M.; MCCANN, P.; MORGAN, K.; NEUWELAARS, C.; ORTEGA-ARGILÉS, R. *Guide to Research and Innovation Strategies for Smart Specialisation (RIS 3)*. S3 Smart Specialisation Platform, IPTS Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Centre of the European Commission. Seville, 2012. Disponível em: <http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/presenta/smart_specialisation/smart_ris3_2012.pdf>. Acessado em 26/03/2020.

FRANÇA, Jussara. *Itabira: Um Perfil de Sua História*. In: *No Tempo do Mato Dentro*. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 1988. 144p

FREITAS, Raquel. *Dissertação de 2010 na Ufop apontava possibilidade de liquefação em barragem de Brumadinho*. G1, 06 fev. 2019 <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/06/dissertacao-de-2010-na-ufop-apontava-possibilidade-de-liquefacao-em-barragem-de-brumadinho.ghtml>.

FRISCH, R. A complete scheme for computing all direct and cross demand elasticities in a model with many sectors. *Econometrica*, vol. 27, p. 177-196, 1959.

- FROCHOT, I. A benefit segmentation of tourists in rural areas: a Scottish perspective. *Tourism Management*, n. 26, 2005, pp. 335-346.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Rumo a uma Transição Justa: uma Oportunidade para Minas Gerais. Concept Paper. FGV-Europe, set. 2020.
- FURTADO, Celso. *Economia do desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Centro Celso Furtado / Editora Contraponto, 2009.
- FURTADO, Celso. *Formação econômica da América Latina*. Rio de Janeiro: LIA, 1969.
- FURTADO, Celso. *Pequena introdução ao desenvolvimento: enfoque interdisciplinar*. Rio de Janeiro: Cia. Editora Nacional, 1980.
- FURTADO, J.; URIAS, E. *Recursos Naturais e Desenvolvimento: Estudos sobre o potencial dinamizador da mineração na economia brasileira*. 1a edição. Edição dos autores/IBRAM. 2013
- G1. Plano de emergência da Samarco previa lama só em Bento Rodrigues. G1: Desastre Ambiental em Mariana, 19 dez. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2015/12/plano-de-emergencia-da-samarco-previa-lama-so-em-bento-rodrigues.html>. Acessado em: 05 mar. 2021.
- GERDAU. Relatório Integrado Gerdau, 2019. Gerdau Açominas: São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/relato-integrado-2019>.
- GUILHOTO, J. J. M. Um modelo computável de equilíbrio geral para planejamento e análise de políticas agrícolas (PAPA) na economia brasileira, 1995, 258 p. (Tese de Livre-Docência). ESALq, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- HADDAD, E. A. Retornos Crescentes, Custos de Transporte e Crescimento Regional. (Tese de Livre-Docência). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004, 203 p.
- HARTWICK, John M. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review*, 67 (5), p. 972-74. 1977
- HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. A. *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*. MIT Press Books, The MIT Press, 2014.
- HIGGS, Peter J. Australian mining and the economy: A general equilibrium analysis. *Resource Polices*, v. 12, Issue 2, June 1986, pp. 117-132.
- HIRSCHMAN, A. O. *The strategy of economic development*. New Haven: Yale University Press, 1958.
- HIRSCHMAN, Albert O. A Generalized Linkage Approach To Development, With Special Reference to Staples. In: ADELMAN, Jeremy (Ed.). *The Essential Hirschman*. Princeton; Oxford: Princeton University Press, 2013 [1977], pp. 155–194.
- HOFFMANN, R. Estimativas das elasticidades-renda de várias categorias de despesa e de consumo, especialmente alimentos, no Brasil, com base na POF de 2008-2009. *Economia Aplicada*, v. 57, n. 2, p. 49-57, 2010.
- HORNE, G. *British Columbia Local Area Economic Dependencies: 2006*. Research Report, British Columbia, 2009.

HORRIDGE, M.; MADDEN, J.; WITTEWER, G. The impact of the 2002–03 drought on Australia. *J Policy Model*, n. 27, 2005, pp. 285–308.

HORRIDGE, M. ORANI-G: A generic single-country computable general equilibrium model. Centre of Policy Studies and Impact Project, Monash University, Australia, p. 78, 2006.

HORRIDGE, M. The TERM model and its database. In: *Economic Modeling of Water*. Springer, 2012. p. 13–35.

HOTELLING, H. The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy* V 39, n. 1:137-175, 1931.

IBIS. Intellectual Property Leasing in Australia - Market Research Report. Disponível em: <<https://www.ibisworld.com/au/industry/intellectual-property-leasing/5039/>>. Acessado: 12 ago 2020.

IGLESIAS, R. Análise dos grandes projetos de investimento no Espírito Santo. In.: Instituto Jones dos Santos Neves Espírito Santo: instituições, desenvolvimento e inclusão social. Instituto Jones dos Santos Neves, 2010.

ILHABELA, 2018. Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Ilhabela. Lei Complementar nº. 1.333/2018. Cria O Fundo Soberano do Município da Estância Balneária de Ilhabela — Fsmi, Dispõe Sobre Sua Estrutura, Fontes de Recursos e Formas de Aplicação e Dá Outras Providências. 21 de novembro de 2018.

INNIS, Harold. *The Cod Fisheries: The History of an International Economy*. Toronto, 1940.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. Enciclopédia dos municípios brasileiros. v 24. Rio de Janeiro, 1959.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. 2015. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf. Acessado em: 10 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG. IBAMA: Informes. 16 mar. 2016. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/informes/rompimento-da-barragem-de-fundao>. Acessado em: 05 mar. 2021.

INSTITUTO ESTADUAL DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO e ARTÍSTICO DE MINAS GERAIS. Guia de Bens Tombados. Belo Horizonte: IEPHA/MG, 2014, v. 2. Disponível em: http://www.iepha.mg.gov.br/images/com_arismartbook/download/7/GBT-V2.pdf. Acessado em: 02 fev. 2021.

JOHANSEN, L. *A Multisectoral Model of Economic Growth*. Amsterdam: NorthHolland, 1960.

KLEMPA, Martin; BUJOK, Petr; JELÍNEK, Jan; PORZER, Michal; PAVLUŠ, Ján. Reconstruction of former industrial complexes and their utilisation in tourism – case study. *TOURISM Professional paper*, vol. 63, nº. 2, 2015. p. 247 - 258.

- KUME, H. PIANI, G. Elasticidades de substituição das importações no Brasil. 2011.
- KYOPHILAVONG, P. Mining booms and growth in Laos – empirical result from CGE model. *International Journal of Development Issues*, Emerald Group Publishing, vol. 15(1), pp. 51-61, April 2016.
- LEMOS, M.B. Espaço e Capital: um estudo sobre a dinâmica centro x periferia. Tese (doutorado). Instituto de Economia, Unicamp, Campinas, 1988.
- LKHANAAJAV, Esmedekh. CoPS-style CGE modelling and analysis. Centre of Policy Studies (CoPS), Victoria University, 2016.
- LOFGREN, Hans; ROBINSON, Sherman; THURLOW, James. Macro and Micro Effects of Recent and Potential Shocks to Copper Mining in Zambia. Trade and Macroeconomics Division Discussion Paper n. 99. Washington: Trade and Macroeconomics Division / International Food Policy Research Institute, August 2002.
- LIMA, Seny. Criado o Fundo Municipal de Desenvolvimento Sustentável em Canaã dos Carajás. Portal Canaã, 23 dez. 2016. Disponível em: <https://portalcanaa.com.br/site/canaa-dos-carajas/criado-o-fundo-municipal-de-desenvolvimento-sustentavel-em-canaa-dos-carajas/>. Acessado em: 06 fev. 2021.
- LYNCH, M. End of Commoditie supercycle? Forbes. Disponível em <<http://www.forbes.com/sites/michaelylynch/2015/07/27/end-of-commodities-supercycle-energy-subset/>>. Acessado em 15 set. 2015.
- MACHADO, Ana Paula. para reduzir barragens, Vale destina R\$ 1,5 bi a empilhamento a seco. Valor Econômico, Caderno Empresas. São Paulo, 13 mai. 2019.
- MACKINTOSH, W. A. Economic Factors in Canadian History. *Canadian Historical Review*, IV, March, 1923, p. 12 – 25.
- MACKINTOSH, W. A. Some Aspects of a Pioneer Economy. *Canadian Historical Review*, II, Nov., 1936, p. 457 - 463.
- MAGALHÃES, A.S. Economia de baixo Carbono no Brasil: alternativas de políticas, custo de redução de emissão de gases estufa e impacto sobre as famílias. (Tese de doutorado). Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional/CEDEPLAR, Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2013.
- MAGALHÃES, Aline Souza; CARVALHO, Terciane; SOUZA, Kênia de; DOMINGUES, Edson Paulo. Quanto vale a água que usamos? Projeções dos impactos econômicos de restrições ao uso e elevação de preços da água na Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Revista De Economia (Curitiba)*, v. 43, p. 1-22, 2016.
- MCKISSACK, Adam; CHANG, Jennifer; EWING, Robert; RAHMAN, Jyoti. Structural Effects of a Sustained Rise in the Terms of Trade. Treasury Working Paper, n. 1. July 2008.
- MEECH, John A.; MCPHIE, Michael; CLAUSEN, Kirstin; SIMPSON, Yale; LANG, Brennan; CAMPBELL, Elisa; JOHNSTONE, Shana; CONDON, Patrick. (2006). Transformation of a derelict mine site into a sustainable community: the Britannia project. *Journal of Cleaner Production* 14, 2006. p. 349-365.

MERT, Yelda. Contribution to sustainable development: Re-development of post-mining brownfields. *Journal of Cleaner Production*, n. 240 (2019), 118212.

MESQUITA, Pedro Paulo Dias; CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de; OGANDO, Laura Duarte. Desenvolvimento e inovação em mineração e metais. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.43 , p. [325]-361, mar. 2016.

MIKESELL, Raymond F. Sustainable development and mineral resources. *Resources Policy*, 20, n. 2, p. 83-86, 1994.

MILANEZ, B. Grandes minas em Congonhas (MG), mais do mesmo? In.: CETEM. Recursos minerais e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011.v.1. p.199-228. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1168/1/Grandes%20minas%20em%20Congonhas.pdf>. Acessado em: 03 fev. 2021.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. Input-output analysis: foundations and extensions. 2th ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

MINERAÇÃO USIMINAS. Mineração Usiminas, seção Histórico de Produção. Disponível em: <https://www.usiminas.com/nossas-empresas/mineracao-usiminas/>. Acesso em: 17 dez. 2020.

MINERE. Vale recebe autorização para retomada parcial de operações a seco em Vargem Grande. Instituto Minere, 04 agos. 2019. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/vale-recebe-autorizacao-para-retomada-parcial-de-operacoes-a-seco-em-vargem-grande>. Acessado em: 09 nov. 2020.

MINÉRIOS & MINERALES. Edição Especial 600 Minas Brasileiras. Revista Minérios & Minerales, n. 397, out/nov. 2018, pp. 40 – 59. Disponível em: https://revistaminerios.com.br/wp-content/uploads/2019/07/MM397_finalbx-40-59.pdf. Acesso em: 10 dez. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS e ENERGIA. Plano nacional de mineração 2030: Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília: Ministério de Minas e Energia, mai. 2011. Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/469987/PNM_2030.pdf/c1c58bf5-d32b-00be-5b70-8bf73e4923ad. Acessado em: 31 jan. 2020.

MOORE, Paul. Vale S11D truckless operation capacity increasing to 100 Mt/y. *International Mining*, 6 dec. 2018. Disponível em: <https://im-mining.com/2018/12/06/vale-s11d-truckless-operation-capacity-increasing-100-mt-y/>. Acessado em: 09 nov. 2020.

NAHAS, Mariana; DOMINGUES, Edson; MAGALHÃES, Aline. Novo Marco Regulatório e Crise da Mineração. 18º Seminário sobre a Economia Mineira. 2019.

NAHAS, Mariana Medeiros; SIMÕES, Rodrigo Ferreira; GOLGHER, André Braz; RIBEIRO, Luiz Carlos de Santana. Especialização e diversificação produtiva: um modelo de painel espacial para a indústria extrativa mineral em Minas Gerais, 2000-2010. *Nova economia*, v. 29, n.1, Belo Horizonte, Jan./Apr. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6351/3244>.

NAVARETTI, G. B.; VENABLES, A. J. Multinational firms in the world economy. Princeton: Princeton University Press, 2004.

NESPOROVA, A. An Active Approach towards Regional Restructuring: the Case of Ostrava, Czech Republic. In.: KEUNE, M. (Ed.). (1998). Regional Development and Employment Policy: Lessons from Central and Eastern Europe. ILO, Budapest/Geneva, 1998. cap. 4. p. 77 - 97.

NKURUNZIZA, J. End of commodity super-cycle? UNCTAD VI Annual Global Commodities Forum, UNCTAD, Geneva, 2015.

NORTH, Douglass C. Location Theory and Regional Economic Growth. Journal of Political Economy, Vol. 63, No. 3 (Jun., 1955), pp. 243-258.

O TEMPO. Semad suspende exploração na Mina Corumi, em Belo Horizonte. Caderno Cidades. 23 out. 2018. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/semad-suspende-exploracao-na-mina-corumi-em-belo-horizonte-1.2058749>. Acessado em: 31 jan. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Brazilian mine disaster – UN experts call for a timely resolution after the settlement suspension. Disponível em: <<http://www.ohchr.org/en/NewsEvents/Pages/DisplayNews.aspx?NewsID=20242&LangID=E>>. Acessado em: 10 out. 2019.

PINHEIRO, J. C. DE F. A mineração brasileira de ferro e a reestruturação do setor siderúrgico. Campinas, Instituto de Geociências/Unicamp (Tese de Doutorado), 2000.

PINTO, Hugo; D'EMERY, Raphael; NOGUEIRA, Carla; LARANJA, Manuel. Especialização inteligente e a descoberta empreendedora em Pernambuco: perspectivas dos atores de inovação de confecções e de automotivo-TI. Rev. Bras. Inov., Campinas, vol. 18, n. 2, p. 299-330, julho/dezembro 2019.

RAWLS, John. A Theory of Justice. Cambridge, Mass.: Belknap, 1971.

REIS, Julio Cesar; SILVA, Harley. Mineração e desenvolvimento em Minas Gerais na década 2000-2010. Novos Cadernos NAEA, v. 18, n. 3, set.-dez. 2015, pp. 73-100.

RIBEIRO, Ivo. Thyssenkrupp passa a fabricar equipamento de mineração no país. Valor Econômico: Caderno Empresas. 22 set. 2020. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2020/09/22/thyssenkrupp-passa-a-fabricar-equipamento-de-mineracao-no-pais.ghtml>. Acessado em: 31 jan. 2021.

RIBEIRO, L. C. D. S. Investimentos Estruturantes e Desigualdades Regionais na Região Nordeste. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Tese de Doutorado. Belo Horizonte, p. 205. 2015.

RIO TINTO. Rio Tinto to expand autonomous truck operations to fifth Pilbara mine site. 07 mar. 2018. Disponível em: <https://www.riotinto.com/news/releases/Automated-truck-expansion-Pilbara>. Acessado em: 31 jan. 2021.

ROBERTO, José Benedito. Influência dos diversos tipos litológicos nas operações de concentração da instalação de beneficiamento de Brucutu. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8DJFVY/1/1565m.pdf>. Acessado em: 02 fev. 2021.

ROBINSON, David; BISHOP, Merlyn. (1999). Layoffs and Municipal Finance: The Case of Elliot Lake. In.: MAWHINEY, Anne-Marie (Ed.); PITBLADO, Jane (Ed.). (1999). Boom Town Blues: Elliot Lake Collapse and Revival in a Single-Industry Community. Toronto: Dundur Press, 1999. cap.16, p. 219 – 231.

RODRIGUES, Artur. Tensão cresce em Congonhas (MG), cidade com área urbana colada a barragem. Folha de São Paulo, 30 jan. 2019. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/01/tensao-cresce-em-congonhas-mg-cidade-com-area-urbana-colada-a-barragem.shtml>. Acessado em: 03 fev. 2021.

SARDINHA, Idalina Dias; CRAVEIRO, Daniela; MILHEIRAS, Sérgio. A sustainability framework for redevelopment of rural brownfields: stakeholder participation at SÃO DOMINGOS mine, Portugal. *Journal of Cleaner Production*, n. 57, 2013. p. 200-208.

SEBRAE. Nota Conceitual – Seminário de Reconversão Produtiva para Territórios Minerados. SEBRAE: Reconversão Produtiva de Territórios Minerados, fev. 2020.

SEDRU/MG. Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana -MG. 2016. Disponível em: http://www.urbano.mg.gov.br/images/NOTICIAS/2016/relatorio_final.pdf. Acessado em: 10 out. 2019.

SESSA, C. B.; SIMONATO, T. C.; DOMINGUES, E. P. O Ciclo das Commodities e Crescimento Regional Desigual no Brasil: uma aplicação de Equilíbrio Geral Computável (EGC). Anais do 44º Encontro Nacional de Economia - ANPEC, 2016.

SHAW, R. The International Building Exhibition (IBA) Emscher Park, Germany: A Model for Sustainable Restructuring? *European Planning Studies*, Vol. 10, No. 1, 2002.

SIMONATO, T. C. Avaliação dos Impactos econômicos do desastre minerário de Mariana-MG. Dissertação (Economia) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2016.

SÖDERHOLM, Patrik; SVAHN, Nanna. Mining, regional development and benefit-sharing in developed countries. *Resources Policy*, n. 45, 2015, pp. 78–91.

SOLOW, R. M. Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. *Review of Economic Studies*, v. 41, issue 5, 29-45, 1974.

SOLOW, Robert. An Almost Pratical Step Toward Sustainability. *Resources Policy*, 19, n. 3, p. 162-172, 1993.

STOECKEL, Andrew. *Minerals: Our Wealth Down Under*. Canberra: Centre for International Economics, 1999.

TANURE, T. M. P.; MIYAJIMA, D. N.; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P.; CARVALHO, T. S. The Impacts of Climate Change on Agricultural Production, Land Use and Economy of the Legal Amazon Region Between 2030 and 2049. *Economia ANPEC*, v.21, p.73 - 90, 2020.

TANURE, Tarik Marques do Padro. Mudanças climáticas e agricultura no Brasil: Impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal. (Tese de doutorado). Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional/CEDEPLAR, Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2020.

THOMAS, J. The Mining supercycle's long good bye. *The Wall Street Journal*. 2015. Disponível em: < <http://www.wsj.com/articles/the-mining-supercycles-long-goodbye-1436346316>>. Acessado em: 13 set.2015.

TREADO, Carey Durkin. Pittsburgh's evolving steel legacy and the steel technology cluster. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, v. 3, n. 1, p. 105-120, 2009.

VALE [S.I.]. S11D Novos Caminhos para a Mineração. Disponível em: <http://www.vale.com/PT/initiatives/innovation/s11d/Documents/s11d-2016/assets/doc/revista-vale-s11d.pdf>. Acessado em: 09 nov. 2020.

VALE. Nossa História. Verso Brasil Editora, 2012.

VALE. Relatório 20-F, 2018. Washington, D.C., 18 abr. 2019. Disponível em: http://www.vale.com/PT/investors/information-market/annual-reports/20f/20FDocs/Vale_20-F%20FY2018%20-%20final_p.pdf. Acesso em: 04 jan. 2020.

VALE. Relatório 20-F, 2019. Washington, D.C., 3 abr. 2020. Disponível em: http://www.vale.com/PT/investors/information-market/annual-reports/20f/20FDocs/Vale%2020-F%202019_p.pdf. Acesso em: 09 dez. 2020.

VALE. Resultados Trimestrais: Produção e Vendas da Vale no 3T20. Disponível em: http://www.vale.com/PT/investors/information-market/quarterly-results/ResultadosTrimestrais/PREREPORT3T20_p%20vf.pdf. Acesso em: 10 dez. 2020.

VALE. Vale informa sobre o Projeto Serra Sul 120 e a ampliação da flexibilidade operacional. Vale, Notícias, 13 ago. 2020. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-informa-sobre-o-projeto-serra-sul-120-e-a-ampliacao-da-flexibilidade-operacional.aspx>. Acesso em: 10 dez. 2020.

VALE. Vale comemora 10 anos da Mina de Brucutu. Vale, 07 out. 2016. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/cale-comemora-10-anos-mina-brucutu.aspx>. Acessado em: 03 fev. 2021.

VALE. Vale Will Begin Tests on Autonomous Operation of Haul Trucks in Carajás. Vale, 24 out. 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/EN/aboutvale/news/Pages/vale-will-begin-tests-on-autonomous-operation-of-haul-trucks-in-carajas.aspx>. Acessado em: 09 nov. 2020.

VALLOUREC. Universal Registration Document, 2019 Edition. Vallourec, 20 mar. 2020. Disponível em: https://www.vallourec.com/-/media/Corporate_WebSite/CORP_Documents/CORP_Publications_EN/CORP_Financial_Publication_EN/CORP_Registration_Document_EN/2019-Vallourec-Universal-Registration-Document.ashx. Acessado em: 22 dez. 2020. (VALLOUREC, 2020)

VEIGA, Marcello M.; SCOBLE, Malcolm; McAllister, Mary L. (2001). Mining with communities. *Natural Resources Forum*, 25, 2001. p. 191-202.

VIEIRA, Karippe Gerçossimo. Aspectos Geotécnicos e Econômicos da Recuperação ambiental de áreas degradadas por antigas pilhas de rejeitos: um estudo de caso. 2010. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG). Disponível em: http://www.tede.ufop.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=463. Acessado em: 02 fev. 2021.

VILLE, Simon; WICKEN, Olav. The dynamics of resource-based economic development: evidence from Australia and Norway. *Industrial and Corporate Change*, nov. 2012. p. 1-31, doi:10.1093/icc/dts040.

WATKINS, Melville H. A Staple Theory of Economic Growth. *The Canadian Journal of Economics and Political Science*, Vol. 29, No. 2 (May, 1963), p. 141 - 158.

WELLSTEAD, Adam. The (Post) Staples Economy and the (Post) Staples State in Historical Perspective. *Canadian Political Science Review*, vol. 1, n. 1, 2007.

WORLD BANK. Large Mines and the Community: Socioeconomic and Environmental Effects in Latin America, Canada and Spain. Washington, DC: World Bank and the International Development Research Centre. International Development Research Centre. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/15247> License: CC BY 3.0 IGO.

WORLD BANK. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. Washington, 2020.

WORLD BANK. New World Bank Fund to Support Climate-Smart Mining for Energy Transition. PRESS RELEASE MAY 1, 2019. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2019/05/01/new-world-bank-fund-to-support-climate-smart-mining-for-energy-transition>. Acessado em: 31 jan. 2021.

WORLD BANK. The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future. Washington, World Bank, jun. 2017. Disponível em: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf>. Acessado em: 04 fev. 2021.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Our Common Future. Oxford: Oxford university Press, 1987.

WRIGHT, Gavin; CZELUSTA, Jesse. Mineral Resources and Economic Development. Stanford University, October 2003.

YE, Qiang. Commodity booms and their impacts on the Western Australian economy: The iron ore case. *Resources Policy*, n. 33, 2008. pp. 83 – 101.

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann; LUSTOSA, Maria Cecília Junqueira. A questão ambiental no esquema centro-periferia. *ECONOMIA*, Niterói (RJ), v.4, n. 2, p.201-221, jul./dez. 2003.

Anexo 01. Índices para análise regional

O Quociente Locacional é uma variável que permite medir a especialização produtiva de determinada localidade. Considera-se que a localidade j é especializada no setor i quando o Quociente Locacional (QL) excede a unidade, e quanto maior o QL, maior a especialização produtiva no setor i . O índice pode ser calculado por meio da equação:

$$QL_{i,j} = \frac{E_{i,j} / \sum_j E_{i,j}}{\sum_i E_{i,j} / \sum_j \sum_i E_{i,j}}$$

onde $E_{i,j}$ é o número de empregados no setor i da localidade j , $\sum_j E_{i,j}$ é o número de empregados no setor i do estado, $\sum_i E_{i,j}$ é o número de empregados na localidade j e $\sum_j \sum_i E_{i,j}$ é o número de empregados em todas as atividades no estado (CROCCO *et al.*, 2006).

A Participação Relativa (PR) mede a participação de uma localidade na economia estadual, em termos de emprego setorial, sendo calculada por meio da equação (CROCCO *et al.*, 2006):

$$PR_{i,j} = \frac{E_{i,j}}{\sum_j E_{i,j}}$$

Por fim, o índice Hirschman-Herfindal Modificado (HHm) visa avaliar o peso do setor i na localidade j em relação ao peso do setor i em Minas Gerais. Segundo Crocco *et al.* (2006), o índice pode ser calculado da seguinte maneira:

$$HHm_{i,j} = \frac{E_{i,j}}{\sum_j E_{i,j}} - \frac{\sum_i E_{i,j}}{\sum_j \sum_i E_{i,j}}$$

Segundo Horne (2009), o índice de diversificação da economia local (DI) é calculado pela equação:

$$DI_j = 100 \times \frac{SDMAX - SD_j}{SDMAX}$$

onde DI_j é o índice de diversificação econômica para a região j , SD_j é o desvio-padrão das participações da produção dos 123 setores do modelo para a região j e $SDMAX$ é o desvio-

padrão para o caso menos diversificado (uma área que, teoricamente, é 100% dependente de um único setor).

Seguindo o mesmo autor, o índice de vulnerabilidade é obtido normalizando-se o resultado da equação: $VI_{i,j} = X_{i,j} \times (100 - DI_j)$, onde $VI_{i,j}$ é o índice de vulnerabilidade da região j em relação ao setor i e $X_{i,j}$ é a participação da produção do setor i na região j .

Anexo 02. Variação anual da produção de minério de ferro

Seguindo a tradição Johansen de equações linearizadas, os choques de produção foram introduzidos no modelo como taxas de variação. Em geral, cada taxa de variação da produção de minério de ferro foi calculada tomando como base o ano anterior, utilizando a fórmula:

$$p_t = \frac{P_t}{P_{t-1}}$$

Onde p_t é a variação percentual da quantidade produzida de minério de ferro e P_t é a quantidade produzida no ano t . Em algumas situações, a fórmula de juros compostos foi usada, para calcular a variação sobre um intervalo maior:

$$\sqrt[t-s+1]{\left(1 + \left(\frac{P_t}{P_s} - 1\right)\right)} - 1$$

Foi o caso de Itabira entre 2023 e 2029, de Belo Horizonte entre 2020 e 2022, de Conselheiro Lafaiete de 2020 a 2025, de Ouro Preto de 2020 a 2022 e de 2023 a 2027, e de Itaguara de 2020 a 2022.

Anexo 03. Setores do modelo

Setores (123)		Descrição	Correspondência 23 setores	
1	ArrozTriCer	Arroz, Trigo e Outros Cereais	1	Agropec
2	MilhoGrao	Milho em Grão	1	Agropec
3	AlgFibTemp	Algodão Herbáceo, Outras Fibras da Lav. Temporária	1	Agropec
4	Canadeacu	Cana-de-Açúcar	1	Agropec
5	SojaGrao	Soja em Grão	1	Agropec
6	OutTempor	Outros Produtos e Serviços da Lavoura Temporária	1	Agropec
7	Laranja	Laranja	1	Agropec
8	CafeGrao	Café em Grão	1	Agropec
9	OutPerman	Outros Produtos da Lavoura Permanente	1	Agropec
10	BovOutAni	Bovinos e Outros Animais Vivos, Prods. Animal, Caça e Serv.	2	BovOutAni
11	LeiteVacOut	Leite de Vaca e de Outros Animais	3	LeiteVacOut
12	Suínos	Suíños	1	Agropec
13	AvesOvos	Aves e Ovos	1	Agropec
14	ProdExplSilv	Produtos da Exploração Florestal e da Silvicultura	1	Agropec
15	PescAgric	Pesca e Aquicultura (Peixe, Crustáceos e Moluscos)	1	Agropec
16	CarvMinera	Carvão Mineral	4	Extrativa
17	MinerNMet	Minerais Não-metálicos	4	Extrativa
18	PetrGasServ	Petróleo, Gás Natural e Serviços de Apoio	4	Extrativa
19	MinerFerro	Minério de Ferro	5	MinerFerro
20	MinMetNFer	Minerais Metálicos Não-ferrosos	6	MinMetNFer
21	CarneBoiOut	Carne de Bovinos e Outros Prod. de Carne	15	Industria
22	CarneSuino	Carne de Suíno	15	Industria
23	CarneAves	Carne de Aves	15	Industria
24	PescIndus	Pescado Industrializado	15	Industria
25	LeiteResPas	Leite Resfriado, Esterilizado e Pasteurizado	15	Industria
26	OutrLaticin	Outros Produtos do Laticínio	15	Industria
27	Acucar	Açúcar	15	Industria
28	ConsFruLeg	Conservas de Frutas, Legumes, Outros Vegetais e Sucos de Frutas	15	Industria
29	OleoGord	Óleos e Gorduras Vegetais e Animais	15	Industria
30	CafeBenef	Café Beneficiado	15	Industria
31	ArrozBenef	Arroz Beneficiado e Produtos Derivados do Arroz	15	Industria
32	ProdTrigMan	Produtos Derivados do Trigo, Mandioca ou Milho	15	Industria
33	RacoesAnim	Rações Balanceadas para Animais	15	Industria
34	OutrAlimen	Outros Produtos Alimentares	15	Industria
35	Bebidas	Bebidas	15	Industria
36	Fumo	Produtos do Fumo	15	Industria
37	FioFibraTex	Fios e Fibras Têxteis Beneficiadas	15	Industria
38	Tecidos	Tecidos	15	Industria
39	ArtTexDom	Art. Têxteis de Uso Doméstico e Outros Têxteis	15	Industria
40	ArtVestAces	Artigos do Vestuário e Acessórios	15	Industria
41	CalcCouro	Calçados e Artefatos de Couro	15	Industria

42	ProdMandei	Produtos de Madeira, Exclusive Móveis	15	Industria
43	Celulose	Celulose	15	Industria
44	PapelEmbalag	Papel, Papelão, Embalagens e Artefatos de Papel	15	Industria
45	SerImpres	Serviços de Impressão e Reprodução	15	Industria
46	CombAviac	Combustíveis para Aviação	15	Industria
47	Gasoalcool	Gasoálcool	15	Industria
48	NaftasPetro	Naftas para Petroquímica	15	Industria
49	OleoComb	Óleo Combustível	15	Industria
50	DieselComb	Diesel - Biodiesel	15	Industria
51	OutRefPetro	Outros Produtos do Refino do Petróleo	15	Industria
52	EtanolBio	Etanol e Outros Biocombustíveis	15	Industria
53	PrQuiIno	Produtos Químicos Inorgânicos	15	Industria
54	AduboFert	Adubos e Fertilizantes	15	Industria
55	PrQuimOrg	Produtos Químicos Orgânicos	15	Industria
56	ResElasFib	Resinas, Elastômeros e Fibras Artif. e Sintéticas	15	Industria
57	DefAgrDesinf	Defensivos Agrícolas e Desinfestantes Domissanitários	15	Industria
58	PrQuimDiv	Produtos Químicos Diversos	15	Industria
59	TinVerEsm	Tintas, Vernizes, Esmaltes e Lacas	15	Industria
60	PerfSabLimp	Perfumaria, Sabões e Artigos de Limpeza	15	Industria
61	ProdFarm	Produtos Farmacêuticos	15	Industria
62	ArtBorracha	Artigos de Borracha	15	Industria
63	ArtPlastico	Artigos de Plástico	15	Industria
64	Cimento	Cimento	15	Industria
65	ArtCimen	Artefatos de Cimento, Gesso e Semelhantes	15	Industria
66	VidCerm	Vidros, Cerâmicos e Outros Prod. de Minerais Não-metálicos	15	Industria
67	FerroGussa	Ferro-gusa e Ferroligas	7	FerroGussa
68	SemiLamAco	Semiacabacados, Laminados Planos, Longos e Tubos de Aço	8	SemiLamAco
69	PrMetNFer	Produtos da Metalurgia de Metais Não-ferrosos	9	PrMetNFer
70	PAcoNFer	Peças Fundidas de Aço e de Metais Não-ferrosos	10	PAcoNFer
71	ProdMetal	Produtos de Metal, Excl. Máquinas e Equipamentos	11	ProdMetal
72	ComEletro	Componentes Eletrônicos	15	Industria
73	MaqEquiInf	Máquinas para Escritório e Equip. de Informática	15	Industria
74	MatEleCom	Material Eletrônico e Equip. de Comunicações	15	Industria
75	EquTesMed	Equip. de Medida, Teste e Controle, Ópticos e Eletromédicos	15	Industria
76	MaqMatElet	Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos	15	Industria
77	Eltrodom	Eletrodomésticos	15	Industria
78	TratorOut	Tratores e Outras Máquinas Agrícolas	15	Industria
79	MarExtMin	Máquinas para a Extração Mineral e a Construção	15	Industria
80	OutMaq	Outras Máquinas e Equipamentos Mecânicos	15	Industria
81	AutoCamUti	Automóveis, Camionetas e Utilitários	12	AutoCamUti
82	CamOnibus	Caminhões e Ônibus, Incl. Cabines, Carrocerias e Reboques	13	CamOnibus
83	PecasAutom	Peças e Acessórios para Veículos Automotores	14	PecasAutom

84	AeroEmbOut	Aeronaves, Embarcações e Outros Equipamentos de Transporte	15	Industria
85	Moveis	Móveis	15	Industria
86	IndDiversas	Produtos de Indústrias Diversas	15	Industria
87	ManuRep	Manutenção, Reparação e Instalação de Máquinas e Equipamentos	15	Industria
88	EletGasOut	Eletricidade, Gás e Outras Utilidades	16	SIUP
89	AguaEsgRec	Água, Esgoto, Reciclagem e Gestão de Resíduos	16	SIUP
90	Edificacoes	Edificações	17	Construcao
91	InfraEstr	Obras de Infraestrutura	17	Construcao
92	ServContr	Serviços Especializados para Construção	17	Construcao
93	ComAtaVar	Comércio por Atacado e a Varejo	18	ComAtaVar
94	TranspCarga	Transporte de Carga	19	TranspCarga
95	TransPass	Transporte de Passageiros	23	Servicos
96	TransAere	Transporte Aéreo	23	Servicos
97	ArSAuxTrans	Armazenamento e Serviços Auxiliares aos Transportes	23	Servicos
98	CorreioEnt	Correio e Outros Serviços de Entrega	23	Servicos
99	SerAlojam	Serviços de Alojamento em Hotéis e Similares	23	Servicos
100	SerAlimen	Serviços de Alimentação	23	Servicos
101	LivrJorRevis	Livros, Jornais e Revistas	23	Servicos
102	SerCineRad	Serviços Cinematográficos, Música, Rádio e Televisão	23	Servicos
103	TelecomOut	Telecomunicações, TV por Assinatura e Outros Serv. Relacionados	23	Servicos
104	DesSistOut	Desenvolvimento de Sistemas e Outros Serviços de Informação	23	Servicos
105	IntFinaSeg	Intermediação Financeira, Seguros e Previdência Complementar	23	Servicos
106	AlugEfet	Aluguel Efetivo e Serviços Imobiliários	23	Servicos
107	AlugImp	Aluguel Imputado	23	Servicos
108	SerJuridTab	Serviços Jurídicos, Contabilidade e Consultoria	23	Servicos
109	PeDesenv	Pesquisa e Desenvolvimento	23	Servicos
110	SerArqEng	Serviços de Arquitetura e Engenharia	23	Servicos
111	PubOutTec	Publicidade e Outros Serviços Técnicos	23	Servicos
112	AluNImob	Aluguéis Não-imob. e Gestão de Ativos de Propriedade Intelectual	23	Servicos
113	Condomin	Condomínios e Serviços para Edifícios	23	Servicos
114	OutAdmin	Outros Serviços Administrativos	23	Servicos
115	ServVigSeg	Serviços de Vigilância, Segurança e Investigação	23	Servicos
116	SerAdmPub	Serviços Coletivos da Administração Pública	20	SerAdmPub
117	ServPrevid	Serviços de Previdência e Assistência Social	23	Servicos
118	Educ	Educação	21	Educ
119	Saude	Saúde	22	Saude
120	SerArtCultur	Serviços de Artes, Cultura, Esporte e Recreação	23	Servicos
121	OrgPatrSind	Organizações Patronais, Sindicais e Outros Serviços Associativos	23	Servicos
122	ManComp	Manutenção de Computadores, Telefones e Objetos Domésticos	23	Servicos
123	Serv	Serviços	23	Servicos

Fonte: elaboração própria.

Anexo 04. Participação do setor, em termos de valor, na economia regional, Minas Gerais

SETOR	CONCEI- CAO	BH	ITABI- RA	ITAGUA- RA	OUOPRE- TO	CONSLAFAI- ETE	MG
1 Agropec	0,9%	0,2%	0,9%	0,5%	0,2%	0,3%	3,5%
2 BovOutAni	2,1%	0,1%	0,6%	0,5%	0,1%	0,3%	0,8%
3 LeiteVacOut	0,6%	0,0%	0,2%	0,2%	0,0%	0,1%	0,3%
4 Extrativa	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
5 MinerFerro	53,7%	2,2%	38,7%	29,0%	62,6%	26,8%	3,7%
6 MinMetNFer		0,3%	2,1%	0,2%	0,0%	0,3%	0,3%
7 FerroGussa		0,2%	0,6%	0,0%	1,4%	0,1%	0,5%
8 SemiLamAco		2,2%	6,4%	41,9%	2,4%	27,5%	2,9%
9 PrMetNFer		0,4%					1,7%
10 PAcoNFer		0,1%	0,0%	0,1%	0,2%		0,1%
11 ProdMetal	0,2%	0,9%	1,4%	0,2%	0,5%	1,6%	1,1%
12 AutoCamUti		5,2%					2,3%
13 CamOnibus		0,1%					0,2%
14 PecasAutom	0,0%	1,1%	0,0%		0,8%	0,1%	1,0%
15 Industria	2,5%	13,0%	6,4%	9,0%	3,2%	5,8%	19,6%
16 SIUP	0,0%	6,2%	1,2%	2,1%	1,4%	0,3%	3,5%
17 Construcão	11,0%	9,3%	9,8%	0,8%	3,4%	4,9%	6,9%
18 ComAtaVar	4,8%	7,7%	6,5%	2,8%	4,0%	6,1%	8,9%
19 TranspCarga	0,5%	2,4%	2,2%	1,5%	1,5%	3,6%	2,7%
20 SerAdmPub	9,9%	6,9%	3,7%	3,7%	3,6%	3,5%	5,9%
21 Educ	0,7%	4,6%	2,5%	0,4%	1,7%	3,0%	4,5%
22 Saude	1,6%	3,7%	2,6%	0,6%	1,3%	2,4%	3,6%
23 Servicos	11,7%	33,1%	14,4%	6,4%	11,7%	13,2%	26,0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: base de dados do modelo.

Anexo 05. Equações comportamentais do modelo

O presente anexo, baseado em Faria (2009) e Carvalho (2014), traz as equações comportamentais do modelo de equilíbrio geral computável construído nesta tese, derivado do TERM. Tais equações são padronizadas, aplicadas a qualquer variante da tradição ORANI (DIXON *et al.*, 1982). Cabe lembrar que, embora as equações apresentadas aqui estejam em nível, no *software* de construção e execução do modelo, o GEMPACK, elas foram aparecerem linearizadas, seguindo a abordagem Johansen (1960).

Escolha dos usuários entre produtos nacionais e importados

Famílias, produtores e investidores de uma região minimizam o custo a partir de uma função CES aninhada. Cada aninhamento envolve uma equação de quantidade e uma de preço.

A começar pelos produtores de uma região d , a demanda intermediária do setor i , de origem s , $XINT(c,s,i,d)$ é proporcional ao total da demanda do produto c pelo setor i , $XINT_S(c,i,d)$ e ao diferencial de preço, envolvendo o preço de compra do bem c , $PPUR(c,s,i,d)$, e o preço médio de compra entre as fontes, $PPUR_S(c,i,d)$. Esse termo de preço relativo é elevado à elasticidade de substituição entre produtos nacionais e importados do bem c , $SIGMADOMIMP(c)$. Mudanças nos preços relativos induzem a uma substituição em favor dos bens relativamente mais baratos.

$$XINT(c,s,i,d)/XINT_S(c,i,d) = [PPUR(c,s,i,d)/PPUR_S(c,i,d)]^{-SIGMADOMIMP(c)}$$

Como se deveria esperar, o produto entre o preço médio de compra entre as fontes (doméstica e importada) para o setor i , $PPUR_S(c,i,d)$, e a quantidade total do bem c produzido, $XINT_S(c,i,d)$ é igual ao valor da soma do produto de $PPUR(c,i,s,d)$ por $XINT(c,i,s,d)$ para todas as fontes.

$$PPUR_S(c,i,d)*XINT_S(c,i,d) = \text{soma}\{s, SRC, PPUR(c,s,i,d)*XINT(c,s,i,d)\}$$

Quanto às famílias, a demanda pelo produto c , na região d , $XHOU(c,s,d)$, é proporcional ao total demandado do bem, independente da fonte (doméstico ou importado), $XHOU_S(c,d)$ e à razão do preço de compra do bem com origem s , $PPUR(c,s, "Hou",d)$, pelo preço do bem ao consumidor, $PHOU(c,d)$. Esse preço relativo também é elevado pela elasticidade de substituição entre bens domésticos e estrangeiros, $SIGMADOMIMP(c)$.

$$XHOU(c,s,d)/XHOU_S(c,d) = [PPUR(c,s, "Hou",d)/PHOU(c,d)]^{-SIGMADOMIMP(c)}$$

O produto do preço médio de compra entre as fontes, cobrado sobre as famílias, $PPUR_S(c, \text{“Hou”}, d)$, e a quantidade total demandada do bem pelos domicílios, $XHOU_S(c, d)$, resulta no somatório do valor demandado de produtos de cada origem, isto é, do produto do preço de compra com origem s , $PPUR(c, s, \text{“Hou”}, d)$, e o termo de demanda, $XHOU(c, s, d)$.

$$PPUR_S(c, \text{“Hou”}, d) * XHOU_S(c, d) = \text{soma}\{s, SRC, PPUR(c, s, \text{“Hou”}, d) * XHOU(c, s, d)\}$$

Analogamente para os usuários investidores, a proporção de demanda do bem c na região d atendido por fonte s é igual a um termo de preço relativo elevado à elasticidade de substituição, $SIGMADOMIMP(c)$. O termo é a razão do preço de compra de bens da origem s por investidores, $PPUR(c, s, \text{“Inv”}, d)$, pelo preço do investimento, $PINVEST(c, d)$.

$$XINV(c, s, d) / XINV_S(c, d) = [PPUR(c, s, \text{“Inv”}, d) / PINVEST(c, d)]^{-SIGMADOMIMP(c)}$$

O preço médio do bem, cobrado sobre os investidores, $PPUR_S(c, \text{“Inv”}, d)$, multiplicado pelo total demandado do bem pelos setores de bens de capital, $XINV_S(c, d)$, é igual à soma, sobre as fontes, do produto do preço de compra do bem pela origem s e a quantidade atendida pela mesma origem.

$$PPUR_S(c, \text{“Inv”}, d) * XINV_S(c, d) = \text{soma}\{s, SRC, PPUR(c, s, \text{“Inv”}, d) * XINV(c, s, d)\}$$

Demanda por fatores primários

Trabalho, capital e terra são combinados por uma função CES de modo a minimizar o custo de produção. Esta seção descreve as equações envolvidas na demanda por esses fatores pelos segmentos industriais.

O TERM possibilita incorporar diferentes tipos de ocupações para o trabalho. A proporção da demanda por trabalho atendida pela ocupação o , $XLAB(i, o, d) / XLAB_O(i, d)$ é igual à razão da taxa de salário, $PLAB(i, o, d)$, pelo preço composto do trabalho, $PLAB_O(i, d)$. O termo de preço relativo é elevado à elasticidade de substituição entre as ocupações em cada indústria, $SIGMA1LAB(i)$, significando que mudanças nos preços relativos dos diferentes tipos induzem substituições em favor daqueles relativamente mais baratos.

$$XLAB(i, o, d) / XLAB_O(i, d) = [PLAB(i, o, d) / PLAB_O(i, d)]^{-SIGMA1LAB(i)}$$

O produto do preço composto do trabalho, $PLAB_O(i, d)$, pela quantidade efetiva do insumo, $XLAB_O(i, d)$, é igual à soma, sobre as ocupações, do salário pago a cada tipo de trabalho, $PLAB(i, o, d)$, vezes a quantidade demandada, $XLAB(i, o, d)$.

$$PLAB_O(i,d)*XLAB_O(i,d) = \text{soma}\{o, OCC, PLAB(i,o,d)*XLAB(i,o,d)\}$$

Consideradas as diferentes ocupações, a quantidade do insumo utilizado pelo segmento i na região d , $XLAB(i,d)$, é proporcional a um produto de três fatores: a demanda global por fatores primários, $XPRIM(i,d)$, o termo de mudança tecnológica do trabalho, $ALAB_O(i,d)$ e o preço relativo do trabalho, elevado à elasticidade de substituição dos fatores primários, $SIGMA1PRIM(i)$. Esse preço relativo corresponde à razão entre o preço composto do trabalho ajustado pelo termo de mudança tecnológica, $PLAB_O(i,d)*ALAB_O(i,d)$, e o preço composto dos fatores primários, $PPRIM(i,d)$.

$$XLAB_O(i,d)/[XPRIM(i,d)*ALAB_O(i,d)] = [PLAB_O(i,d)*ALAB_O(i,d)/PPRIM(i,d)]^{[-SIGMA1PRIM(i)]}$$

Equação semelhante se aplica às demandas por capital, $XCAP(i,d)$, e terra, $XLND(i,d)$, considerando o preço de cada fator, $PCAP(i,d)$ e $PLND(i,d)$, e os termos de mudança tecnológica, $ACAP(i,d)$ e $ALND(i,d)$.

$$XCAP(i,d)/[XPRIM(i,d)*ACAP(i,d)] = [PCAP(i,d)*ACAP(i,d)/PPRIM(i,d)]^{[-SIGMA1PRIM(i)]}$$

$$XLND(i,d)/[XPRIM(i,d)*ALND(i,d)] = [PLND(i,d)*ALND(i,d)/PPRIM(i,d)]^{[-SIGMA1PRIM(i)]}$$

O valor total gasto com fatores primários, $PPRIM(i,d)*XPRIM(i,d)$, é igual à soma do valor dispendido com trabalho, $PLAB_O(i,d)*XLAB_O(i,d)$, capital, $PCAP(i,d)*XCAP(i,d)$, e terra, $PLND(i,d)*LND(i,d)$.

$$PPRIM(i,d)*XPRIM(i,d) = PLAB_O(i,d)*XLAB_O(i,d) + PCAP(i,d)*XCAP(i,d) + PLND(i,d)*LND(i,d)$$

Demanda por fatores primários agregados e insumos intermediários

A estrutura de produção do modelo consiste na combinação, com uma função de Leontief, de determinada quantidade de insumos primários, $XPRIM(i,d)$, e bens intermediários compostos, $XINT_S(c,i,d)$. A demanda total da indústria i na região d por fatores primários é proporcional à quantidade produzida, $XTOT(i,d)$, tendo como constante de proporcionalidade o produto do termo de mudança tecnológica total dos insumos, $ATOT(i,d)$, e do termo de mudança tecnológica dos fatores primários.

$$XPRIM(i,d) = XTOT(i,d)*ATOT(i,d)*APRIM(i,d)$$

A demanda pelo bem composto c , isto é, pelo agregado do bem originado das fontes doméstica e estrangeira, é igual ao produto de quatro termos: um que representa a mudança tecnológica conjunta dos insumos, $ATOT(i,d)$, um que representa a mudança tecnológica intermediária do bem c utilizado na produção, $AINT_S(c,i,d)$, e o preço relativo elevado à elasticidade de substituição entre insumos intermediários, $ARMSIGMA(i,d)$. O preço relativo corresponde à razão entre o preço médio de compra do composto do bem c pela indústria i , ajustado pela mudança tecnológica intermediária do bem, $AINT_S(c,i,d)$, e o preço efetivo do consumo intermediário, $PINT(i,d)$.

$$XINT_S(c,i,d) = ATOT(i,d) * AINT_S(c,i,d) * XTOT(i,d) * [PPUR_S(c,i,d) * AINT_S(c,i,d) / PINT(i,d)]^{-ARMSIGMA(i,d)}$$

A restrição é que a receita total da indústria i na região d valorada ao preço de produção, $PCST(i,d)$, corresponde à soma do dispêndio com insumos intermediários, independente da origem, $PPUR_S(c,i,d) * XINT_S(c,i,d)$, do gasto com o fator trabalho de cada espécie, valorado ao preço efetivo do insumo, $PLAB(i,o,d) * XLAB(i,o,d)$, e da despesa com os demais fatores. Isto é, receita total é igual ao custo total de produção.

$$PCST(i,d) * XTOT(i,d) = \text{soma}\{c, COM, PPUR_S(c,i,d) * XINT_S(c,i,d)\} + \text{soma}\{o, OCC, PLAB(i,o,d) * XLAB(i,o,d)\} + PCAP(i,d) * XCAP(i,d) + PLND(i,d) * XLND(i,d)$$

Impostos de produção

Para cada indústria i na região d , o imposto direto de produção, $PTX(i,d)$, é proporcional à receita total, usando alíquotas específicas para setor e localidade, $PTXRATE(i,d)$.

$$PTX(i,d) = PTXRATE(i,d) * PCST(i,d) * XTOT(i,d)$$

Assim, a receita total, valorada ao preço do produto da indústria, $PTOT(i,d)$, corresponde ao valor da produção mais os impostos diretos.

$$PTOT(i,d) * XTOT(i,d) = PCST(i,d) * [1 + PTXRATE(i,d)] * XTOT(i,d)$$

Composição da produção

O TERM permite incorporar indústrias multiproduto. Assume-se a hipótese da separabilidade, em que a estrutura de produção é composta de dois blocos: a utilização de insumos e a composição da produção setorial. Quanto a esta última, duas funções de elasticidade de

transformação (CET) constante são adotadas, primeiro para definir a composição de produtos, segundo para decidir sobre a venda no mercado local ou para exportação.

Em termos de modelagem, a oferta do bem c pela indústria i da região d , $XMAKE(c,i,d)$, corresponde a um produto de três termos: um que representa a mudança tecnológica específica, $AMAKE(c,i,d)$, a produção total da indústria, $XTOT(i,d)$, e o preço relativo elevado à elasticidade de transformação do setor, $SIGMAOUT(i)$. O preço relativo consiste na razão do preço base dos bens domésticos, $PDOM(c,d)$, e o preço de produção efetivo, $PTOT(i,d)$. Como $SIGMAOUT(i)$ tem sinal positivo, isso significa que quanto maior o preço das indústrias, em relação ao preço composto do setor, maior a oferta.

$$XMAKE(c,i,d) = AMAKE(c,i,d) * XTOT(i,d) * [PDOM(c,d)/PTOT(i,d)]^{SIGMAOUT(i)}$$

Assim, a receita total de um setor i em d corresponde à soma do valor dos bens ofertados pela indústria, $PDOM(c,d) * XMAKE(c,i,d)$.

$$PTOT(i,d) * XTOT(i,d) = \text{soma}\{c, COM, PDOM(c,d) * XMAKE(c,i,d)\}$$

Preços de importação

O TERM assume que a oferta de importações é infinitamente elástica. Isso significa que o preço das importações do bem c na região de origem r , $PIMP(c,r)$, é igual ao preço estrangeiro de importação, $PFIMP(c,r)$ ajustado pela taxa de câmbio nominal PHI .

$$PIMP(c,r) = PFIMP(c,r) * PHI$$

Demanda das famílias

A demanda das famílias segue o Sistema Linear de Gastos, em que cada produto possui uma quantidade mínima de consumo, que deve ser comprada qualquer que seja o preço do bem. O resíduo do orçamento do consumidor, depois dos gastos de subsistência, é denominado de gasto de luxo, sendo que apenas essa parcela gera utilidade para o indivíduo. A alocação da despesa de luxo entre os diversos bens segue uma participação calibrada de acordo com elasticidades de gasto e um parâmetro $FRISCH$ para cada região, que é a razão negativa entre gastos de subsistência e gastos de não-subsistência. Espera-se que tal razão decresça com o nível de renda.

O preço do bem c na região de destino d , $PHOU(c,d)$, é a composição, por fontes, do preço de compra para as famílias, $PPUR_S(c, "Hou", d)$.

$$PHOU(c,d) = PPUR_S(c, "Hou", d)$$

O nível agregado de gastos de subsistência na região d , $WSUBSIST(d)$, é o produto do número de famílias de d , $NHOU(d)$, pelo somatório, sobre as mercadorias, do preço cobrado sobre as famílias, $PHOU(c,d)$, multiplicado pelo número de famílias cujo consumo é apenas de subsistência, $XSUBSIST(c,d)$.

$$WSUBSIST(d) = NHOU(d) * \text{soma}\{c, COM, PHOU(c,d) * XSUBSIST(c,d)\}$$

A despesa nominal das famílias, $WHOUTOT(d)$, é o produto do índice de preços ao consumidor, $PHOUTOT(d)$, e a quantidade total consumida pelas famílias da região d , $XHOUTOT(d)$. O índice de preços ao consumidor é a média ponderada do preço de cada mercadoria, utilizando como peso a participação no orçamento, $BUDGSHR(c,d)$. Já a quantidade total demandada, $XHOUTOT(d)$, analogamente, é a média ponderada da demanda composta dos domicílios por cada bem, independente das fontes, $XHOU_S(c,d)$, média essa que também utiliza como peso a participação no orçamento.

$$WHOUTOT(d) = PHOUTOT(d) * XHOUTOT(d)$$

$$PHOUTOT(d) = \text{soma}\{c, COM, BUDGSHR(c,d) * PHOU(c,d)\}$$

$$XHOUTOT(d) = \text{soma}\{c, COM, BUDGSHR(c,d) * XHOU_S(c,d)\}$$

Por fim, o valor da demanda total das famílias pelo bem c , considerando as duas fontes, $XHOU_S(c,d) * PHOU(c,d)$, equivale ao produto da participação marginal do bem c no orçamento, $MBS(c,d)$, pelo gasto de luxo, que é a diferença entre a despesa nominal das famílias, $WHOUTOT(d)$, e a despesa de subsistência, $WSUBSIST(d)$.

$$XHOU_S(c,d) * PHOU(c,d) = MBS(c,d) * [WHOUTOT(d) - WSUBSIST(d)]$$

Demanda dos investidores

A adição ao estoque de capitais no setor i é regida por uma função de produção de Leontief, combinando insumos intermediários em proporções fixas. A quantidade do produto c demandada para investimento pelo setor i na região d , $XINV(c,i,d)$, é igual ao produto do nível de investimento pelo setor i , $XINVTOT(i,d)$, pelo termo de mudança tecnológica, $AINV(c,i,d)$.

$$XINV(c,i,d) = AINV(c,i,d) * XINVTOT(i,d)$$

O preço do bem c para investimento em d , $PINVEST(c,d)$, é definido como o preço de compra do bem composto (doméstico ou estrangeiro) c cobrado dos investidores, $PPUR_S(c, "Inv", d)$. Já o índice de preço do investimento no setor, $PINVTOT(i,d)$, é a média ponderada do preço

anteriormente definido, $PINVEST(c,d)$, utilizando como peso a participação da quantidade demandada de c no nível de investimento do setor, $XINV(c,i,d)/XINVTOT(i,d)$.

$$PINVEST(c,d) = PPUR_S(c, "Inv",d)$$

$$PINVTOT(i,d)*XINVTOT(i,d) = \text{soma}\{c, COM, PINVEST(c,d)*XINV(c,i,d)\}$$

A demanda por compostos domésticos e importados para construção de novo capital na região d , assim, é a soma, sobre os setores industriais, das demandas de todas as indústrias por bens de investimento, $XINV(c,i,d)$.

$$XINV_S(c,d) = \text{soma}\{i, IND, XINV(c,i,d)\}$$

Para alguns setores específicos, o mecanismo de investimento envolve ainda duas taxas, a taxa de retorno bruta, $GRET(i,d)$, e a taxa de crescimento bruto de capital, $GGRO(i,d)$. A primeira é determinada como a razão entre a rentabilidade do capital no setor i e o índice de preço do investimento na indústria, $PINVTOT(i,d)$, que aqui é pensado como o preço de unidades adicionais de capital na dinâmica recursiva.

$$GRET(i,d) = PCAP(i,d)/PINVTOT(i,d)$$

A taxa de crescimento bruto, por sua vez, é a razão entre o nível de investimento do setor, $XINVTOT(i,d)$, e o uso de capital, $XCAP(i,d)$.

$$GGRO(i,d) = XINVTOT(i,d)/XCAP(i,d)$$

Adotando a regra de investimento proposta por Dixon *et al.* (1982), segue que a $GGRO(i,d)$ é definida por:

$$GGRO(i,d) = FINV1(i,d) * \{[GRET(i,d)^2]/INVSLACK\}^{0.33}$$

Onde $FINV1(i,d)$ e $INVSLACK$ são variáveis de deslocamento que permitem diferentes fechamentos para o investimento.

Demanda do governo, por exportações e estoques

A demanda do governo é modelada de forma a permitir diferentes choques do consumo da administração pública. Assim, a quantidade demandada de c , tendo origem s , pelo governo em d é o produto de três termos de deslocamento: um que permite choques específicos na região, $FGOVTOT(d)$, um que permite choques quanto a produto e região, $FGOV_S(c,d)$, e um que permite modificações exógenas específicas às três dimensões, $FGOV(c,s,d)$.

$$XGOV(c,s,d) = FGOVTOT(d)*FGOV(c,s,d)*FGOV_S(c,d)$$

Já a demanda direcionada à exportação do bem c na região d é igual ao produto de um termo de deslocamento da quantidade exportada, $FQXEXP(c,d)$, e o preço relativo elevado à elasticidade da demanda por exportações, $EXP_ELAST(c)$. O termo de preço é a razão do preço pago pelos exportadores, $PPUR(c,s, "Exp",d)$, pela variável de deslocamento, dividida pela taxa de câmbio.

$$XEXP(c,s,d)/FQXEXP(c,s) = [PPUR(c,s, "Exp",d)/[FPEXP(c,s)/PHI]]^{-EXP_ELAST(c)}$$

Por fim, a demanda por estoques é a produção do setor i , $XTOT(i,d)$, multiplicada pelo termo de deslocamento dos estoques, $FSTOCKS(i,d)$, que permite choques específicos.

$$XSTOCKS(i,d) = FSTOCKS(i,d)*XTOT(i,d)$$

Demanda por margens

Inicialmente, procede-se à construção do composto regional do bem, consumido em d , que pode ser originado das demais regiões do modelo. $XTRAD(c,s,r,d)$ fornece o detalhamento da especificação da origem de cada uso: demanda intermediária, $XINT(c,s,i,d)$, famílias, $XHOU(c,s,d)$, investimento, $XINV(c,s,d)$, governo, $XGOV(c,s,d)$ e exportação $XEXP(c,s,d)$. Como o TERM assume mesma origem, independentemente do usuário, se omite esta dimensão na variável, que não carrega, por isso, o subscrito u . Assim, a demanda total em d pelo bem c , de origem s , é igual à soma das demandas de todos os usuários.

$$XTRAD_R(c,s,d) = \text{soma}\{i, IND, XINT(c,s,i,d)\} + XHOU(c,s,d) + XINV(c,s,d) + XGOV(c,s,d) + XEXP(c,s,d)$$

Posteriormente, introduz-se a demanda por bens que funcionam como margens. A demanda da margem m para facilitar o fluxo da mercadoria c , de origem s , da região r para a região d , $XTRADMAR(c,s,m,r,d)$, é definida como o produto da demanda regional do produto, adquirido de r , $XTRAD(c,s,r,d)$, e um fator de mudança tecnológica no uso da margem, $ATRADMAR(c,s,m,r,d)$.

$$XTRADMAR(c,s,m,r,d) = ATRADMAR(c,s,m,r,d)* XTRAD(c,s,r,d)$$

A demanda regional, quando valorada a preço de entrega específico de r , $PDELIVRD(c,s,r,d)$, corresponde à demanda a preço básico, $PBASIC(c,s,r)$, mais a soma do dispendido em cada

margem, valorado a $PSUPPMAR_P(m,r,d)$ – que é o preço da margem m que faz o trajeto de r a d , composto sobre todas as regiões produtoras da margem.

$$PDELIVRD(c,s,r,d)*XTRAD(c,s,r,d) = PBASIC(c,s,r)*XTRAD(c,s,r,d) + \text{soma}\{m, MAR, PSUPPMAR_P(m,r,d)*XTRADMAR(c,s,m,r,d)\}$$

Já o valor da demanda total do bem composto regional, quando valorada a preço de entrega não específico à origem, $PUSE(c,s,d)$, equivale ao somatório do valor demandado de cada região r de origem, como definido pela equação anterior.

$$PUSE(c,s,d)*XTRAD_R(c,s,d) = \text{soma}\{r, ORG, PDELIVRD(c,s,r,d)*XTRAD(c,s,r,d)\}$$

Por fim, a quantidade do bem c , doméstico ou importado, demandado pela região d da origem r , $XTRAD(c,s,r,d)$, é obtida pelo produto da participação do bem no comércio, $STRAD(c,s,r,d)$, pela demanda regional total, $XTRAD_R(c,s,d)$, e por um fator de preço relativo elevado à elasticidade de substituição entre as origens, $SIGMADOMDOM(c)$. O termo é o preço de entrega da origem r , $PDELIVRD(c,s,r,d)$, relativamente ao preço $PUSE(c,s,d)$.

$$XTRAD(c,s,r,d) = STRAD(c,s,r,d)*XTRAD_R(c,s,d)*[PDELIVRD(c,s,r,d)/PUSE(c,s,d)]^{[-SIGMADOMDOM(c)]}$$

Fontes regionais de margens

A demanda pela margem m utilizada para facilitar o fluxo comercial da região de origem r para d , $XSUPPMAR_P(m,r,d)$, equivale ao somatório, para todos os produtos e fontes, da quantidade de margem utilizada para o bem c , de origem s .

$$XSUPPMAR_P(m,r,d) = \text{soma}\{c, COM, \text{soma}\{s, SRC, XTRADMAR(c,s,m,r,d)\}\}$$

Quando valorada pelo preço específico da margem e do trajeto, $PSUPPMAR_P(m,r,d)$, a demanda de m utilizada no percurso de r para a região de destino d iguala à soma, sobre os fornecedores, da demanda de margem produzida em p , valorada ao preço doméstico específico da região produtora, $PDOM(m,p)$.

$$XSUPPMAR_P(m,r,d)*PSUPPMAR_P(m,r,d) = \text{soma}\{p, PRD, XSUPPMAR(m,r,d,p)*PDOM(m,p)\}$$

Considera-se ainda que a demanda pela margem m produzida em p , $XSUPPMAR(m,r,d,p)$, é o produto da demanda total da margem, $XSUPPMAR_P(m,r,d)$, por um fator de preço relativo elevado à elasticidade de substituição entre as origens da margem, $SIGMAMAR(m)$. O termo

é o preço doméstico de m cobrado pela região produtora p , $PDOM(m,p)$, relativamente ao preço da margem no trajeto considerado, $PSUPPMAR_P(m,r,d)$.

$$XSUPPMAR(m,r,d,p) = XSUPPMAR_P(m,r,d) * [PDOM(m,p) / PSUPPMAR_P(m,r,d)]^{[-SIGMAMAR(m)]}$$

Por fim, determina-se a quantidade agregada de margem m , demandada da região p , utilizada para os produtos da localidade de origem r , $XSUPPMAR_D(m,r,p)$, e a quantidade de margem m , do fornecedor p , para todos os trajetos, $XSUPPMAR_RD(m,p)$.

$$XSUPPMAR_D(m,r,p) = \text{soma}\{d, DST, XSUPPMAR(m,r,d,p)\}$$

$$XSUPPMAR_RD(m,p) = \text{soma}\{r, ORG, XSUPPMAR_D(m,r,p)\}$$

Equações de demanda e oferta

A demanda total pelo bem c , de origem s , produzido em r , $TOTDEM(c,s,r)$, é igual ao somatório, sobre as regiões de destino, da demanda regional atendida em cada uma, $XTRAD(c,s,r,d)$.

$$TOTDEM(c,s,r) = \text{soma}\{d, DST, XTRAD(c,s,r,d)\}$$

No que diz respeito à oferta, esta pode ser dividida quanto a bens que funcionam como margens e os que não. Para fontes domésticas e bens que não são margens, a oferta do bem c produzido em r , $XCOM(c,r)$, equivale à demanda nacional, $TOTDEM(c, "Dom", r)$.

$$XCOM(c,r) = TOTDEM(c, "Dom", r)$$

Quanto às margens, a oferta de m pela região produtora p , $XCOM(m,p)$, é composta da demanda direta pelo bem produzido domesticamente, $TOTDEM(m, "Dom", p)$, e pela demanda total pela margem m produzida em p , $XSUPPMAR_RD(m,p)$.

$$XCOM(m,p) = TOTDEM(m, "Dom", p) + XSUPPMAR_RD(m,p)$$

Quanto aos preços, $PBASIC(c, "Dom", r)$, o preço básico do bem c produzido domesticamente em r , equivale a $PDOM(c,r)$. Já $PBASIC(c, "Imp", r)$, o preço do bem c importado em r , é igual a $PIMP(c,r)$.

$$PBASIC(c, "Dom", r) = PDOM(c,r)$$

$$PBASIC(c, "Imp", r) = PIMP(c,r)$$

O preço de comprado bem c , de origem s na região d , específico para o usuário u , $PPUR(c,s,u,d)$, corresponde ao preço básico, $PUSE(c,s,d)$, multiplicado por um termo que representa o imposto sobre os produtos, $TUSER(c,s,u,d)$. Este termo, por sua vez, é igual a 1 mais a proporção da receita de imposto por mercadoria pago pelo usuário, $TAX(c,s,u,d)$, sobre o valor da demanda em preço de entrega, $USE(c,s,u,d)$.

$$PPUR(c,s,u,d) = PUSE(c,s,d) * TUSER(c,s,u,d)$$

$$TUSER(c,s,u,d) - 1 = TAX(c,s,u,d) / USE(c,s,u,d)$$

A receita obtida com a taxa de produtos consumidos em d , $COMTAXREV(d)$, corresponde ao valor total dos bens utilizados pelos usuários – $PUSE(c,s,d) * XHOU(c,s,d)$ para famílias, $XINT(c,s,i,d) * PUSE(c,s,d)$ para segmentos produtores, $PUSE(c,s,d) * XGOV(c,s,d)$ para o governo, $PUSE(c,s,d) * XINV(c,s,d)$ para investidores, e $PUSE * XEXP(c,s,d)$ para exportadores – multiplicado pela taxa de imposto do produto específica para o usuário.

$$\begin{aligned} COMTAXREV(d) = & \text{soma}\{c, COM, \text{soma}\{s, SRC, \\ & [TUSER(c,s, "Hou",d)-1] * PUSE(c,s,d) * XHOU(c,s,d) + \\ & \text{soma}\{i, IND, [TUSER(c,s,i,d)-1] * XINT(c,s,i,d) * PUSE(c,s,d)\} + \\ & [TUSER(c,s, "Gov",d)-1] * PUSE(c,s,d) * XGOV(c,s,d) + \\ & [TUSER(c,s, "Inv",d)-1] * PUSE(c,s,d) * XINV(c,s,d) + \\ & [TUSER(c,s, "Exp",d)-1] * PUSE * XEXP(c,s,d) \} \} \end{aligned}$$