



Potencial de energias renováveis

Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade

Com o apoio de :

feam
FUNDAÇÃO ESTADUAL
DO MEIO AMBIENTE



© 2014 Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM
A reprodução é permitida desde que citada a fonte

Governo do Estado de Minas Gerais

Alberto Pinto Coelho - Governador

Secretaria de estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD

Alceu José Torres Marques – Secretário

Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Zuleika Stela Chiacchio Torquetti – Presidente

Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento - DPED

Janaína Maria França dos Anjos – Diretora

Gerência de Energia e Mudanças Climáticas - GEMUC

Felipe Santos de Miranda Nunes – Gerente

Abílio Cesar Soares de Azevedo – Analista Ambiental

Andréa Brandão Andrade – Analista Ambiental

Carolina Pereira Lucca – Analista Ambiental

Cibele Mally de Souza – Analista Ambiental

Letícia Vieira Lopes – Analista Ambiental

Wilson Pereira Barbosa Filho – Analista Ambiental

Victor Muniz Ribeiro – Estagiário

Victor Pires Gonçalves – Estagiário

Alessandro R. Campos – Analista Ambiental

Conselho Regional de Nord Pas-de-Calais/França

Presidência: Daniel Percheron, Presidente

Emmanuel Cau, Vice-Presidente Planejamento Territorial, Meio Ambiente e Plano Clima

Majdouline Sbai, Vice-Presidente Cidadania, Relações Internacionais e Cooperação Descentralizada

Direção do Meio Ambiente: Bertrand Lafolie, Chefe de Serviço

Direção Parcerias Internacionais: Sandra Fernandes

Agência francesa do Meio Ambiente e da Gestão de Energia

Bruno Lechevin, Presidente

Direção de Ação Internacional: Dominique Campana, Diretora

Cécile Martin-Phipps, Encarregada do projeto Brasil

Direção Regional Nord-Pas de Calais: Hervé Pignon, Diretor

François Boisleux, Moderador Ar-Clima

Enviroconsult

Diretor-Presidente: Olivier Decherf

Diretor-Técnico: Léo Genin

Gerente de Projeto: Charlotte Raymond

Coordenador local do Projeto : Alexandre Florentin

Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/n – 1º andar - Bairro Serra Verde - Belo Horizonte -
Minas Gerais ,Brasil - CEP: 31630-90

Home page: <http://www.feam.br/mudancas-climaticas>

Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais
Potencial de Energias Renováveis: Volume II –Biomassa, resíduos e hidroeletricidade
Belo Horizonte, abril de 2014



Lista das Figuras

<i>Conteúdo do documento</i>	10
<i>Elaboração do documento</i>	10
<i>Versão do documento</i>	10
CONCEITOS: OS DIFERENTES POTENCIAIS AVALIADOS	11
CAPITULO 1 – BIOMASSA DE RESÍDUOS	13
METANIZAÇÃO: VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS EM ATERROS	13
<i>Contexto</i>	13
<i>Inventário de aterros sanitários com aproveitamento energético</i>	15
<i>Potencial de geração de energia</i>	16
<i>Barreiras e restrições</i>	20
METANIZAÇÃO: LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	21
<i>Contexto</i>	21
<i>Inventário de estações de tratamento com aproveitamento energético</i>	24
<i>Potencial de geração de energia</i>	25
<i>Barreiras e restrições</i>	26
METANIZAÇÃO : DEJETOS DA PECUÁRIA	26
<i>Contexto</i>	26
<i>Inventário de instalações de aproveitamento energético de dejetos da pecuária</i>	29
<i>Potencial de geração de energia</i>	32
<i>Barreiras e restrições</i>	37
RESÍDUOS AGRÍCOLAS	37
<i>Contexto</i>	37
<i>Inventário de instalações com aproveitamento energético de resíduos agrícolas</i>	38
<i>Potencial de geração de energia</i>	39
<i>Barreiras e restrições</i>	46
BIOELETRICIDADE	46
<i>Contexto</i>	46
<i>Inventário de usinas de bioeletricidade em Minas Gerais</i>	47
<i>Potencial de geração de energia</i>	53
<i>Barreiras e restrições</i>	55
CAPITULO 2 - BIOCOMBUSTÍVEIS	56
LENHA E CARVÃO VEGETAL	56
<i>Contexto</i>	56
<i>Inventário de empreendimentos produtores de carvão vegetal com fins energéticos</i>	64
<i>Potencial de geração de energia</i>	70
<i>Barreiras e restrições</i>	73
CAVACO DE MADEIRA	74
<i>Contexto</i>	74
<i>Inventário de instalações com aproveitamento energético de cavaco de madeira</i>	75



Lista das Figuras

<i>Potencial de geração de energia</i>	75
<i>Barreiras e restrições</i>	76
BIODIESEL.....	77
<i>Contexto</i>	77
<i>Inventário de empreendimentos produtores de biodiesel</i>	81
<i>Potencial de geração de energia</i>	82
<i>Barreiras e restrições</i>	85
ETANOL.....	85
<i>Contexto</i>	85
<i>Inventário de empreendimentos produtores de etanol em Minas Gerais</i>	87
<i>Potencial de geração de energia</i>	89
<i>Barreiras e restrições</i>	92
BIOQUEROSENE.....	95
<i>Contexto</i>	95
<i>Inventário de instalações produtoras de bioquerosene</i>	95
<i>Potencial de geração de energia</i>	95
<i>Barreiras e restrições</i>	95
CAPÍTULO 3 - HIDROELETRICIDADE.....	96
RECURSOS HÍDRICOS.....	96
<i>Contexto</i>	96
<i>Inventário de usinas e instalações hidrelétricas em Minas Gerais</i>	99
<i>Potencial de geração de energia</i>	101
<i>Barreiras e restrições</i>	107
CAPÍTULO 4 - ANEXOS.....	109
INCINERAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	109
<i>Contexto</i>	109
<i>Inventário de usinas de incineração</i>	109
<i>Potencial de geração de energia</i>	109
<i>Barreiras e restrições</i>	110
COMPLEMENTARIDADE HIDRO EÓLICA.....	110
COMPLEMENTARIDADE HIDRO SOLAR.....	112
MEMORIAIS DE CÁLCULO.....	112
<i>Valorização dos resíduos em aterros</i>	112
<i>Valorização dos lodos de estações de tratamento de esgoto</i>	116
<i>Avaliação do potencial a partir das informações da COPASA</i>	117
<i>Lenha e carvão vegetal</i>	118
<i>Cavaco</i>	119
<i>Biodiesel</i>	120



Lista das Figuras

Figura 1 - Situação da coleta de resíduos sólidos urbanos em 2011 (segundo dados da ABRELPE 2013)	13
Figura 2 - Situação da coleta de resíduos sólidos urbanos em 2012, por região (Fonte: FEAM 2012)	15
Figura 3 - Ilustração de um sistema de captação	16
Figura 4 - Central de biogás do aterro BR040 (Fonte: Prefeitura BH portalpbh.pbh.gov.br)	16
Figura 5 - Evolução do gás gerado, recuperável e consumido por uma hipotética central térmica de 1,4MW (Potencial de geração de biogás do aterro de Contagem, op.cit.) Nota: LFG – landfill gas (biogás).....	18
Figura 6 - Evolução da destinação dos RSU em Minas Gerais, de 2001 a 2012 (Fonte: FEAM 2012 (op.cit.)) .	20
Figura 7 - Principais módulos da estação de tratamento de esgoto de Arrudas. Em azul, a central termelétrica (Fonte: Licença de instalação da estação).....	22
Figura 8 - Evolução da capacidade instalada e regularizada para o tratamento dos esgotos sanitários, entre 2008 e 2012 (Fonte: Relatório de Atividade FEAM (op.cit.))	24
Figura 9 - Quantidade estimada de resíduos agrícolas potencialmente disponíveis para uso energético em Minas Gerais	45
Figura 10 – Teor energético estimado dos resíduos agrícolas potencialmente disponíveis para uso energético em Minas Gerais	45
Figura 11 - Demanda de energia por fonte e setor em Minas Gerais (Fonte: BEEMG 2012, op.cit.)	47
Figura 12 - Potencial brasileiro de geração de bioeletricidade no horizonte de 2020	54
Figura 13 - Evolução da produção e consumo de lenha no estado de Minas Gerais (CEMIG, 2012).	57
Figura 14 - Evolução da produção e consumo de carvão vegetal no estado de Minas Gerais (CEMIG, 2012).58	
Figura 15 - Balanço energético da fonte lenha e derivados, no ano de 2010, em Minas Gerais (CEMIG, 2011)	59
Figura 16 - Evolução do plantio de eucalyptus e pinus em Minas Gerais (Fonte: ABRAF, 2013)	60
Figura 17 - Evolução da área plantada de eucalipto em MG . (Adaptado de ABRAF, 2013)	60
Figura 18 - Evolução da área plantada de pinus em MG . (Adaptado de ABRAF, 2013)	61
Figura 19 - Evolução da participação de Minas Gerais na área total plantada no Brasil. (Adaptado de ABRAF, 2013)	61
Figura 20 - Tendência de aumento de áreas de florestas plantadas e demanda projetada para MG. (Fonte: AMS 2009).....	62
Figura 21 - Evolução da oferta e do consumo de carvão vegetal (Fonte: BEEMG 2012, op.cit.)	63
Figura 22 - Evolução Anual da produção, demanda e capacidade nominal do biodiesel no país (ANP)	78
Figura 23 - Evolução da produção brasileira de biodiesel (Fonte: segundo a ANP, 2013)	79
Figura 24 - Distribuição do biodiesel brasileiro, por matéria-prima (Fonte: ANP/Abiove, 2013)	79
Figura 25 - Evolução da produção e da área colhida em Minas Gerais (Fonte: Perfil agronegocio MG, 2012)80	
Figura 26 - Distribuição do consumo de biodiesel em Minas Gerais (Fonte: segundo BEEMG 2011, op.cit.)..	81
Figura 27 - Evolução da produção de biodiesel em Minas Gerais e o que representa a nível nacional (Fonte: Enviroconsult segundo dados da ANP dezembro 2013)	81
Figura 28 - Mapa com áreas aptas e inaptas para o cultivo de cana e soja. (Fonte: Adaptado de SIMMINAS, 2013)	83
Figura 29 - Projeção da demanda de diesel e biodiesel em Minas Gerais (Fonte: segundo FEAM (op.cit.)	83
Figura 30 – Redução média de gases do efeito estufa em relação à gasolina (Fonte: Cartilha “Etanol, uma atitude inteligente”).....	86
Figura 31 - Distribuições das usinas do setor de açúcar e etanol em Minas Gerais em 2013 (Fonte: SIAMIG, perfil da produção em Minas Gerais).....	87
Figura 32 - Produção total de etanol em Minas Gerais em bilhões de litros desde 2005 – previsão para a safra 2013-2014 (Fonte: relatório SIAMIG 2013)	88



Lista das Figuras

Figura 33 - Variação da produção de cana-de-açúcar e área de safra, em hectares, em Minas Gerais (Fonte: SIAMIG, 2013)	88
Figura 34 - Média por safra de litros de etanol produzidos por tonelada de cana-de-açúcar (Fonte: EnviroConsult a partir de dados SIAMIG 2013).....	89
Figura 35 - Histórico e projeção da produção de cana-de-açúcar em Minas Gerais e Goiás. (Fonte: traço contínuo e pontilhado: Ministério do Meio Ambiente, junho de 2013; outros pontilhados: prolongamento da tendência)	91
Figura 36 - Preço do etanol na bomba e diferença de preço em relação à gasolina, em diversos postos de Belo Horizonte em 27/11/13 (segundo precodoscombustiveis.com.br)	93
Figura 37 - Distribuição do consumo do etanol produzido em Minas Gerais em 2012 (Fonte: SIAMIG 2012)	93
Figura 38 - Dinâmica dos 3 principais centros de consumo de etanol produzido em Minas Gerais (segundo SIAMIG 2012). O ano 2012 foi estimado a partir dos dados jan-set 2012.	94
Figura 39 - As 17 bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais (Fonte: PERH/Minas Gerais 2006, SEMAD)	97
Figura 40 - Distribuição por município do consumo de água em Minas Gerais (Fonte: PERH/MG 2006, SEMAD)	98
Figura 41 - Vazão média (L/s.km ²) dos cursos d'água em Minas Gerais (Fonte: PERH/MG 2006, SEMAD)	98
Figura 42 - Instalações de geração de energia elétrica em Minas Gerais (Fonte: Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos, IGAM).....	100
Figura 43 - Projetos existentes e propostos no PGHMG por bacia hidrográfica e unidade de gestão (UPGRH) (Fonte: PGHMG 2007-2027).....	102
Figura 44 - Distribuição dos 380 projetos por bacia hidrográfica (número de barragens, potência total instalada) (Fonte: PGHMG 2007-2027)	103
Figura 45 - Número de projetos (esquerda) e potência total instalada por bacia hidrográfica (direta) em função dos cenários do PGHMG (Fonte: PGHMG 2007-2027)	104
Figura 46 - Localização das UHEs em Minas Gerais (Fonte: PDE 2021).....	106
Figura 47 - Resultado por fonte leilão A-3 2011. (Fonte: MME)	107
Figura 48 - Produção de Energia no rio Grande em 2012	111
Figura 49 - Potência instalável por estação de tratamento de esgotos gerida pela COPASA (a partir de dados da COPASA, 2013)	118



Tabela 1 - Os diferentes tipos de aterros no Brasil (Fonte: relatório de etapa, Minas Sem Lixões FEAM 2012)	14
Tabela 2 - Objetivos e resultados do programa "Minas sem lixões" (Fonte: relatório de etapa, FEAM 2012)	14
Tabela 3 - Resíduos sólidos e biogás gerados pelos aterros de cidades com 50.000 habitantes, ou mais, em Minas Gerais (segundo a FEAM, entrevistas em 11/12/13).....	17
Tabela 4 - Resumo do potencial em biogás e sua valorização, para Minas Gerais (Fonte: ABRELPE 2012, op.cit.)	18
Tabela 5 - Definição dos grupos do programa "Minas trata esgoto" (Cf. Relatório de Atividade do Programa, FEAM, 2013).....	23
Tabela 6 - Características da estação de tratamento de esgoto de Arrudas (Fonte: Licença de Instalação) ...	24
Tabela 7 - Potencial de metano, produção possível e potência instalável das estações de tratamento de esgotos de Minas Gerais, para 3 grupos de hipóteses (Fonte: EnvirOconsult)	25
Tabela 8 - Quantidade de cabeças de animais (bovinos, suínos e galináceos) e variação anual em Minas Gerais (2011 e 2012) (Fonte : IBGE 2012)	27
Tabela 9 - Bovinos confinados e total de bovinos em Minas Gerais (Fonte: Censo Agropecuário 2006)	28
Tabela 10 - Tratamento de esterco animal em propriedades rurais, no estado de Minas Gerais, segundo o Censo Agropecuário 2006 (Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2006).....	29
Tabela 11 - Usinas termelétricas registradas na ANEEL, que utilizam biogás gerado em biodigestores de dejetos da suinocultura, instaladas em MG. (Fonte : ANEEL 2013)	30
Tabela 12 - Atividades de projeto de biodigestão anaeróbia dejetos animais, localizadas no estado de Minas Gerais, aprovadas pela CIMGC (Fonte : MCTI 2013)	31
Tabela 13 - Fatores de emissão de metano por categoria de rebanho (Fonte: IPCC 2006)	33
Tabela 14 - Potencial técnico de energia a partir de dejetos de animais (Fonte: Engebio 2013)	34
Tabela 15 - Projeção para 2020 do potencial técnico de energia a partir de dejetos de animais (Fonte: Engebio 2013)	35
Tabela 16 - Crédito de carbono associado aos projetos de MDL do estado	36
Tabela 17 - Culturas produzidas no estado de Minas Gerais	38
Tabela 18 - Dados sobre o potencial energético do algodão	39
Tabela 19 - Dados sobre o potencial energético do arroz.....	40
Tabela 20 - Dados sobre o potencial energético do soja	40
Tabela 21 - Dados sobre o potencial energético do café	41
Tabela 22- Dados sobre o potencial energético do milho.....	42
Tabela 23 - Dados sobre o potencial energético do cana-de-açúcar	42
Tabela 24 – Características das principais culturas produzidas no estado.....	44
Tabela 25 - Energia disponível nos resíduos agrícolas	44
Tabela 26 - Usinas de bioeletricidade em Minas Gerais (Fonte : ANEEL 2014).....	48
Tabela 27 - Informações técnicas da cultura de cana-de-açúcar (Fonte: EPE, 2013).....	53
Tabela 28 - Potencial de energia teórico calculado para o ano de 2013 (Fonte: Engebio, 2013)	53
Tabela 29 - Projeção do potencial energético teórico em 2020 (Fonte: Engebio, 2014)	54
Tabela 30 - Quantidade produzida e participação dos 20 maiores municípios produtores de carvão vegetal (Fonte: IBGE 2012)	63
Tabela 31 - Estabelecimentos produtores de carvão vegetal, em MG, e quantidade produzida (Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2006).....	65
Tabela 32 - Empresas produtoras de ferro em Minas Gerais (Fonte : SINDIFER 2012).....	66
Tabela 33 - Usinas termelétricas registradas na ANEEL, que utilizam gás de alto forno de siderurgia, instaladas em MG. (Fonte: ANEEL 2013).....	67



Tabela 34 - Atividades de projeto de aproveitamento energético – siderurgia e carvão vegetal, localizadas no estado de Minas Gerais, aprovadas pela CIMGC (Fonte: MCTI 2013).....	69
Tabela 35 - Atividades de projeto – carvão vegetal e florestas plantadas, localizadas no estado de Minas Gerais, aprovadas pela CIMGC (Fonte: MCTI 2013)	69
Tabela 36 - Potencial energético teórico de florestas plantadas no estado de Minas Gerais - 2012	70
Tabela 37 - Potencial energético técnico de florestas plantadas no estado de Minas Gerais - 2012	70
Tabela 38 - Potencial energético técnico caso as pastagens com algum grau de degradação fossem plantadas com eucalipto com fins energéticos	71
Tabela 39 - Projeção do potencial energético de florestas plantadas no estado de Minas Gerais em 2020... 71	71
Tabela 40 - Composição típica dos gases do processo de carbonização (Fonte : Engebio)	72
Tabela 41 - Estimativa do potencial energético dos gases de carbonização (Fonte: Engebio 2013)	72
Tabela 42 - Projeção do potencial energético dos gases de carbonização em 2020 (Engebio 2013)	73
Tabela 43 - Potencial energético teórico de cavaco no estado de Minas Gerais - 2012	75
Tabela 44 - Potencial energético técnico de cavaco no estado de Minas Gerais - 2012.....	76
Tabela 45 - Potencial energético econômico de cavaco no estado de Minas Gerais - 2012.....	76
Tabela 46 - Porcentagem de biodiesel no diesel no Brasil (Fonte: segundo a ANP, 2013)	78
Tabela 47 - Área plantada e potencial teórico no ano de 2012 (IBGE, adaptado)	82
Tabela 48 - Projeções da produção da cana-de-açúcar no horizonte de 2022/2023 (Fonte: Projeções do Ministério da Agricultura, junho de 2013)	90
Tabela 49 - Avaliação das toneladas equivalentes de petróleo produzido em Minas Gerais no horizonte de 2022/2023 (Fonte: EnvirOconsult).....	91
Tabela 50 - Distribuição por tipo de hidrelétricas em operação em Minas Gerais em 2013 (Fonte : ANEEL 2013)	99
Tabela 51 - Distribuição por tipo de instalações hidrelétricas com autorização em Minas Gerais em 2013 (Fonte: ANEEL 2013)	100
Tabela 52 - Distribuição por bacia hidrográfica das instalações hidrelétricas em operação e autorizadas em Minas Gerais (Fonte: PGHMG 2007-2027).....	101
Tabela 53 - Distribuição por bacia hidrográfica das obras hidrelétricas identificadas no PGHMG (Fonte: PGHMG 2007-2027)	103
Tabela 54 - Levantamento e potencial adicional do potencial hidrelétrico de Minas Gerais	105
Tabela 55 - Fatores restritivos considerados no âmbito da Avaliação Ambiental Estratégica do potencial hidrelétrico de Minas Gerais (Fonte: PGHMG 2007-2027)	108
Tabela 56 - Resíduos sólidos e biogás gerados pelos aterros de cidades com 50.000 habitantes, ou mais, em Minas Gerais (segundo a FEAM, entrevistas em 11/12/13).....	113
Tabela 57 - Características dos motores considerados para a valorização do biogás (Fonte: cf. notas de rodapé).....	113
Tabela 58 - Potencial energético dos aterros de Minas Gerais, conforme 3 casos (Fonte: EnvirOconsult) ...	114
Tabela 59 - Capacidade instalável em cada aterro de Minas Gerais com mais de 50.000 habitantes, conforme as 3 etapas de cálculos (Fonte: EnvirOconsult).....	114
Tabela 60 - Potencial de metano, produção possível e potência instalável das estações de tratamento de esgotos de Minas Gerais, para 2 critérios (Fonte: EnvirOconsult)	117
Tabela 61 - Potencial de biogás e valorização energética (segundo dados da COPASA 19/12/13)	118
Tabela 62 - Informações técnicas – lenha de eucalipto e pinus (Fonte : MAPA 2013 et al).....	119
Tabela 63 - Memorial de cálculo referente a produção de energia a partir do cavaco	120
Tabela 64 - Rendimento e dados complementares das culturas de mamona, soja e girassol (Fonte: Relatório da Petrobio, Indústria e Comércio de Equipamentos e Processos para Biodiesel LTDA).....	120



Conteúdo do documento

Este relatório apresenta uma avaliação do potencial de geração de energia por meio de fontes renováveis no estado de Minas Gerais. As informações geradas são elementos fundamentais para a construção do diagnóstico do Plano de Energia e Mudanças Climáticas (PEMC), iniciado em agosto de 2013. O estudo visa estimar os potenciais teóricos, técnicos e econômicos das principais fontes renováveis de energia disponíveis no território estadual, sendo, portanto, a base técnica para a construção dos cenários possíveis para a evolução da matriz energética mineira e ações a serem definidas no âmbito do PEMC.

Ressalta-se que o conteúdo do documento representa um insumo para as discussões do processo participativo do PEMC e pode ser alterado futuramente em vista das contribuições e comentários das diferentes partes interessadas. Neste caso, uma nova versão será publicada ao final do processo participativo.

O estudo está dividido em dois volumes: Volume I – Energia eólica e solar e **Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade**.

Elaboração do documento

Este estudo foi construído a partir de pesquisas bibliográficas considerando informações disponíveis no momento e discussões do Comitê técnico com outras instituições mobilizadas durante a primeira missão técnica em agosto de 2013.

A avaliação baseia-se em estudos com foco em energias renováveis abordando os aspectos socioeconômicos e ambientais no território mineiro, com destaque para a identificação de barreiras e restrições. Apresenta, também, as informações de iniciativas e empreendimentos em processo de instalação e/ou operação e estimativas próprias dos autores acerca do potencial de geração para algumas fontes de energia.

O relatório tem como objetivo principal disponibilizar um diagnóstico (inventário) da utilização de energias renováveis, ao mesmo tempo em que estima potenciais de desenvolvimento dessas fontes em Minas Gerais. Visa, também, a identificação de ações prioritárias para redução da dependência de energia fóssil e ampliação de energias renováveis no estado.

Versão do documento

VERSÃO	DATA	MODIFICAÇÕES FEITAS
1.0	14/04/2013	Nenhuma (primeira versão)



Conceitos: os diferentes potenciais avaliados

Para fins deste estudo, foram utilizados os conceitos de potencial teórico, técnico e econômico para tratar dos potenciais de aproveitamento dos recursos energéticos disponíveis (adaptado de Resch et al., 2008 e Stecher et al., 2013) conforme ilustrado na Figura 1:

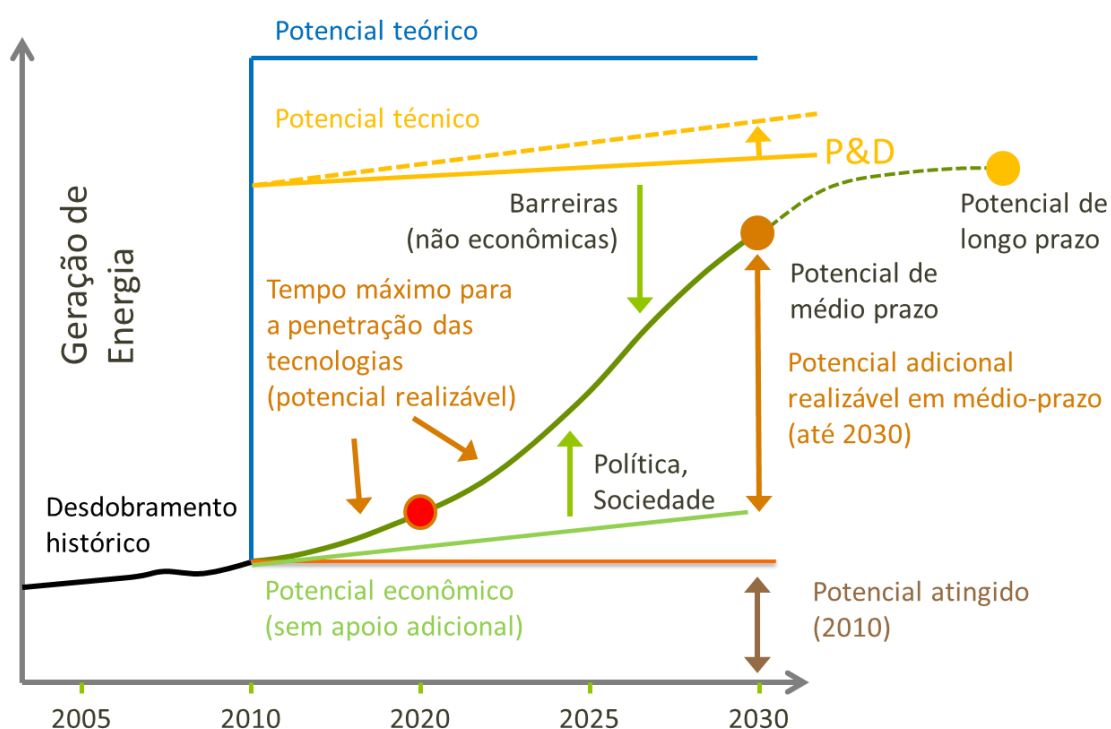


Figura 1 - Metodologia para a definição de potenciais. (Fonte: Resch, Held et al. 2008 adaptado)

Potencial teórico

O potencial teórico representa o limite máximo de energia fisicamente disponível a partir de um recurso energético em uma determinada área e período de tempo. Esse potencial geralmente não considera restrições de nenhuma natureza para a conversão e uso da energia disponível. Para sua obtenção, parâmetros físicos gerais devem ser considerados, como, por exemplo, o estoque ou fluxo de energia resultante da fonte energética em questão dentro da região investigada.



Potencial técnico

O potencial técnico é determinado considerando as condições da fronteira técnica, notadamente as perdas dos processos, limites das tecnologias de conversão e barreiras socioambientais, como a área disponível, eficiência de conversão e outras restrições. O cálculo do potencial teórico inclui muitas vezes limitações de natureza estrutural, ecológica, administrativas e sociais, bem como os requisitos legais. Para muitas fontes energéticas esse potencial precisa ser considerado em um contexto dinâmico – com mais investimento em P&D, por exemplo, as tecnologias de conversão podem ser melhoradas e, dessa forma, o potencial técnico poderá aumentar.

Potencial econômico

O potencial econômico é a parcela do potencial técnico que é economicamente rentável (ou atrativo para investidores) sob determinadas condições, incluindo obstáculos e incentivos (regulação, subsídios, taxas, etc.) que afetam a rentabilidade atual e futura. Pode ser calculado com base nos empreendimentos já em operação, e em alguns casos, a partir dos custos comparativos de outras fontes e o potencial de mercado previsto (projeções econômicas). Em um contexto de avaliação de potencial de energias renováveis também pode ser entendido como o total de energia que pode ser gerada sem necessidade de apoio ou intervenções adicionais às existentes no mercado.

A partir da utilização desses conceitos podem ser estimados os **potenciais realizáveis de médio e longo prazo** (2020, 2030 e 2050) assumindo-se a superação das barreiras existentes e a implementação dos incentivos necessários para a expansão dos investimentos e infraestrutura. Assim, parâmetros gerais como taxas de crescimento do mercado e restrições de planejamento devem ser levados em consideração. O potencial realizável também precisa ser visualizado em um **contexto dinâmico**, sempre tomando como referência um determinado ano.

O **cálculo dos potenciais** para cada fonte de energia renovável e tecnologia de aproveitamento **depende diretamente da disponibilidade de dados e informações específicas** considerando os aspectos biofísicos, econômicos e sociais. Dessa forma, para algumas fontes de energia e tecnologias associadas, foram assumidas premissas ou projeções existentes buscando o máximo de coerência possível com os conceitos de potenciais adotados.



Capítulo 1 – Biomassa de resíduos

O termo biomassa designa o conjunto de matérias orgânicas de origem vegetal ou animal que podem servir de fonte de energia após metanização ou combustão. A biomassa “plantada” para uso energético (comumente chamada de biocombustível) será tratada no capítulo seguinte. Neste, há o tratamento das informações relativas à biomassa oriunda de resíduos de orgânicos para uma determinada atividade: matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos, nos esgotos sanitários, nos resíduos da agricultura, da pecuária e do setor madeireiro.

Metanização: valorização dos resíduos em aterros

Contexto

A metanização é o processo natural biológico de degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Um aterro que acumula resíduos sólidos urbanos concentra uma parte de matéria orgânica e emite metano (CH_4). O metano é um gás de efeito estufa que tem um poder de aquecimento mais de 21 vezes maior que o dióxido de carbono, conforme o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Queimado, ele pode gerar calor e/ou eletricidade, transformando-se, em parte, em CO_2 .

A produção de resíduos tem aumentado no Brasil e em Minas Gerais, principalmente devido ao aumento populacional, crescimento industrial e incremento na produção de bens e serviços. Em 2011, 198 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) foram gerados no Brasil diariamente. Desse total, quase 90% foram coletados, conforme visto na Figura 1.

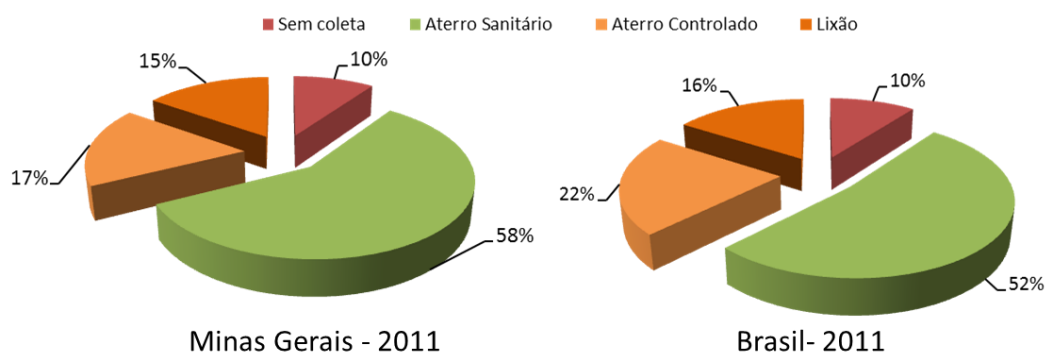


Figura 1 - Situação da coleta de resíduos sólidos urbanos em 2011 (segundo dados da ABRELPE 2013)



No mesmo ano, Minas Gerais gerou quase 9% dos resíduos (em toneladas) do Brasil, com uma taxa de coleta de 90% (todos os tipos de disposição). A Tabela 1 demonstra os tipos de aterros mais comuns no Brasil e influência sobre o meio ambiente e saúde da população.

Tabela 1 - Os diferentes tipos de aterros no Brasil (Fonte: relatório de etapa, Minas Sem Lixões FEAM 2012)

Aterro	Considerado	Medidas de proteção do meio ambiente e da saúde
Lixão ou vazadouro	Inadequado	Nenhuma
Controlado	Paliativo	Mínima (frequência de cobertura controlada)
Sanitário	Adequado	Definidas por lei: sistema impermeabilizante na base e nas laterais; coleta e tratamento do lixiviado etc.
Usina de triagem	Adequado	Possibilita a separação dos materiais recicláveis, das matérias orgânicas que serão compostadas e dos resíduos finais.

Em 2003, o programa *Minas sem lixões* foi lançado, a fim de auxiliar os municípios em sua gestão adequada dos RSU. Os objetivos definidos são vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Objetivos e resultados do programa "Minas sem lixões" (Fonte: relatório de etapa, FEAM 2012)

	OBJETIVOS NO HORIZONTE DE				RESULTADOS OBTIDOS EM	
	2005	2007	2011	2023	2011	2012
População cujos RSU são tratados de maneira adequada (triagem ou aterro sanitário)	29,6%	37,5%	60%	90 %	55%	59%

A FEAM calcula que, em 2012, 55,04% da população tinha seus RSU beneficiados por um tratamento adequado, contra um objetivo de 60% inicialmente previsto.¹

Em 2001, 823 municípios (de 853) tinham lixões em Minas Gerais. Esse número foi reduzido a 575 em 2005 e a 267 em 2012, ou seja, uma redução de 68% no período 2001-2012. Entre os municípios restantes, 233 têm menos de 20.000 habitantes. Essa disparidade também é encontrada no levantamento por regiões, conforme visto na Figura 2.

¹ Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais em 2012, FEAM, 2013.

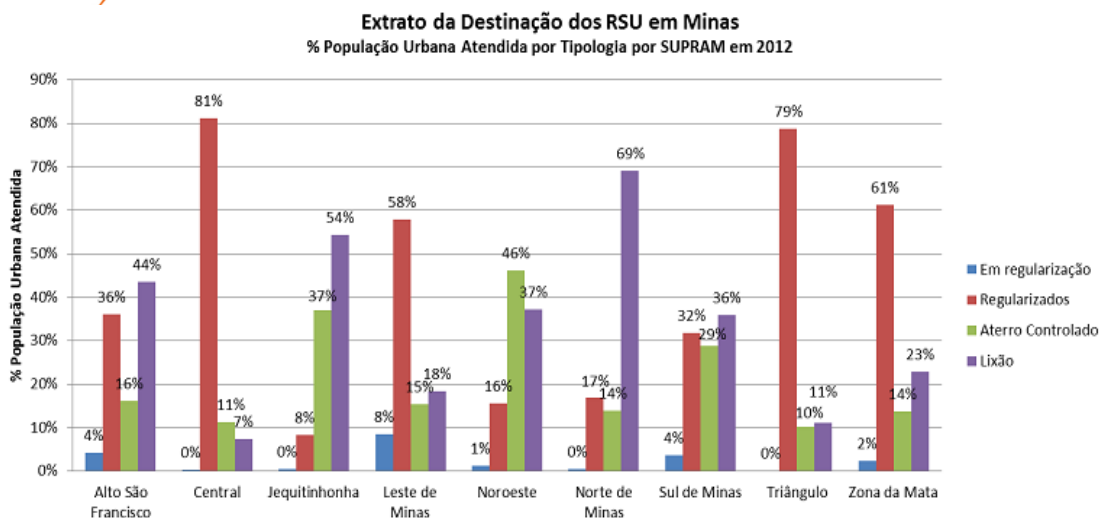


Figura 2 - Situação da coleta de resíduos sólidos urbanos em 2012, por região (Fonte: FEAM 2012)

Inventário de aterros sanitários com aproveitamento energético

Atualmente, existem três centrais térmicas que utilizam o biogás oriundo de aterros sanitários, representando uma potência instalada de **8,28 MW**.

Uma delas está situada em Belo Horizonte e associada ao aterro BR-040. Esse aterro ocupa cerca de 1 km² por 65 m de altura e estocava, em 2012, 24 milhões de m³ de resíduos. O biogás gerado permite o funcionamento de 3 módulos com uma potência total instalada de 4,05 MW, com uma geração de eletricidade média anual estimada em 17,5 GWh.

O aterro da BR-040 não recebe mais os resíduos urbanos, sendo assim, os resíduos da região metropolitana de Belo Horizonte estão sendo dispostos em um aterro localizado na cidade de Sabará. Esse aterro (Macaúbas) contará com uma usina de geração de energia com capacidade de instalação final de 12,8 MW. No entanto, esse projeto ainda não foi implantado.

Em Uberlândia, a A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) firmou um acordo com a Energás Geração de Energia, em 2011, para a venda de energia gerada a partir do biogás proveniente da decomposição do lixo acumulado no antigo aterro sanitário. A usina terá uma potência total instalada de aproximadamente 2,8 MW.

Em Juiz de Fora, foi construída a termelétrica ValorGás, em parceria com a ENC Power, do grupo ENC Energy. A usina, movida a biogás, terá capacidade para produção de até 4,28 MW (em 2022) e pode atender até 57 mil pessoas. Em 2014 a usina estava operando apenas com uma máquina de potência de 1,43 MW.



A Figura 3 demonstra um modelo de sistema de captação de biogás em aterros e Figura 4 a usina do aterro na BR-040.

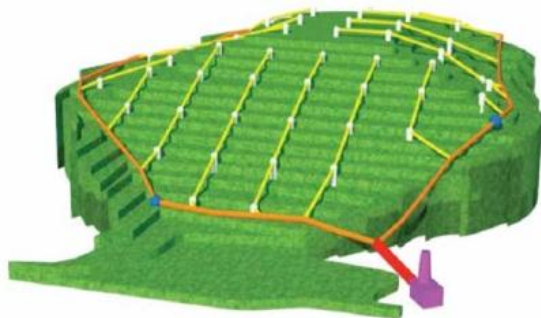


Figura 3 - Ilustração de um sistema de captação



Figura 4 - Central de biogás do aterro BR040 (Fonte: Prefeitura BH portalpbh.pbh.gov.br)

Potencial de geração de energia

Potencial teórico

Assumindo que toda a população mineira tenha seus resíduos recuperados e tratados adequadamente, pode-se estimar que cerca de 154.000 Nm³ de biogás sejam gerados por hora no território mineiro. Desse volume, **seria teoricamente possível gerar 6,6 TWh** a partir de uma potência instalada de **760 MW**.²

Potencial técnico

O potencial teórico estimado não toma em conta restrições técnicas de recuperação de gás, disponibilidade das plantas, tamanho técnico-econômico mínimo das instalações, população concernida pela coleta de RSU, etc. Para obter um potencial tecnicamente acessível, hipóteses foram feitas. As principais são mencionadas aqui e os detalhes são apresentados no memorial de cálculo anexo.

A partir de uma abordagem baseada na população atual, considera-se apenas os aterros que acumulam resíduos de municípios com **mais de 50.000 habitantes**.

Com base na população atendida por esses aterros, 17.720 Nm³ de biogás seriam gerados a cada hora em Minas Gerais, assim como pode ser visualizado na Tabela 3.

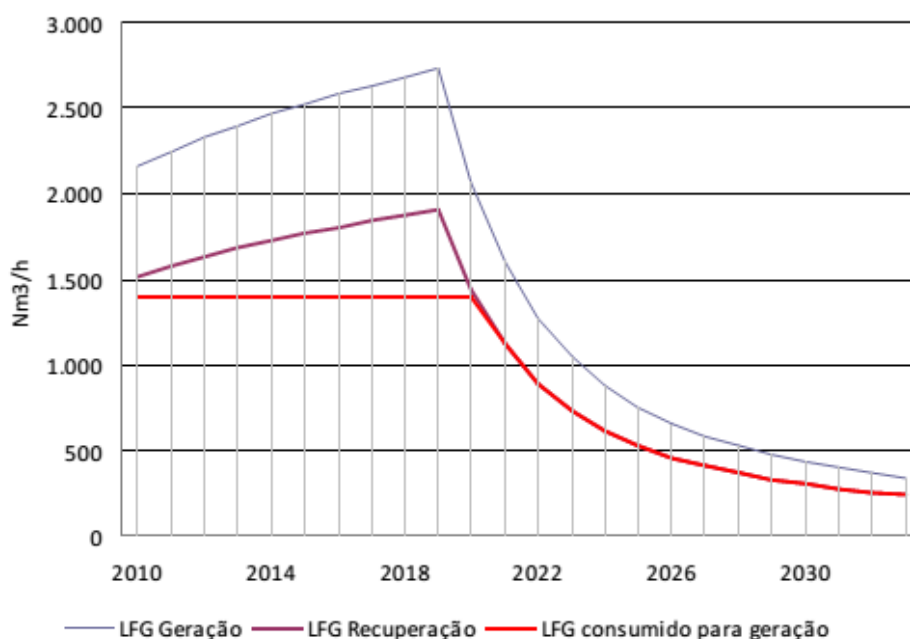
² Para maiores detalhes verifique o memorial de cálculo no anexo



Tabela 3 - Resíduos sólidos e biogás gerados pelos aterros de cidades com 50.000 habitantes, ou mais, em Minas Gerais (segundo a FEAM, entrevistas em 11/12/13)

POPULAÇÃO CONSIDERADA	RESÍDUOS (t / dia)	MÉDIA PONDERADA DOS RESÍDUOS POR HABITANTE (kg/dia)	VAZÃO DE BIOGÁS (Nm ³ /h)
9.068.621	6.449	0,71	17.719

Um aterro recebe regularmente novos resíduos, que vão se acumulando. Cada camada de resíduo gera biogás em proporções que variam com o tempo. Um aterro emite, então, uma quantidade de gás que vai aumentando, até seu fechamento. Para dimensionar uma instalação termelétrica, considera-se que 70% do gás gerado é recuperável.³ Esse dimensionamento é feito, em seguida, em relação à quantidade de gás gerado no início da vida do aterro, considerando-se múltiplos módulos da central termoelétrica. Por exemplo, na Figura 5, a central térmica foi dimensionada para captar 1.400 Nm³/h por meio de 2 módulos de 1.400 kW cada um.



³ Hipótese que depende da qualidade do sistema de recuperação. Essa dimensão está integrada no Tabela 3 - Resíduos sólidos e biogás gerados pelos aterros de cidades com 50.000 habitantes, ou mais, em Minas Gerais (segundo a FEAM, entrevistas em 11/12/13)



Figura 5 - Evolução do gás gerado, recuperável e consumido por uma hipotética central térmica de 1,4MW
(Potencial de geração de biogás do aterro de Contagem, op.cit.)
Nota: LFG – landfill gas (biogás)

Então, para a vazão de biogás calculada, considerando a eficiência de captação, uma taxa de metano no biogás de 50% e uma disponibilidade de 8.000h/ano⁴ para cada instalação, e combinações de 3 motores (1.400 kW, 800 kW e 70kW) em cada aterro identificado pelo seu potencial, avalia-se uma energia potencial de **300 GWh**, a partir de uma potência instalada de **38 MW**. Dessa forma, o potencial técnico atinge 5% do potencial teórico estimado.

Para fins de comparação, nota-se que a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) estimou em **30,8 MW o potencial de Minas Gerais, no período 2009-2039, a partir da valorização dos resíduos** (com base no método recomendado pelo IPCC). Esse número (visto na Tabela 4) representa 11% do potencial estimado do Brasil no mesmo período pela mesma Associação.⁵

Tabela 4 - Resumo do potencial em biogás e sua valorização, para Minas Gerais (Fonte: ABRELPE 2012, op.cit.)

EMISSIONES TOTAIS DE BIOGÁS (m ³)	VAZÃO (m ³ /h)	POTENCIAL (MW)
6.471.007.946	24.623	30,8

Potencial econômico

Atualmente, um projeto de valorização do biogás de aterro não é competitivo em relação a outras fontes de energia. A CEMIG divulga a cifra de R\$ 150/MWh, a ser comparada aos R\$ 114/MWh da hidráulica, R\$ 135/MWh da biomassa, e R\$ 124/MWh da eólica dos últimos leilões de energia.

A maior parte dos projetos realizados no Brasil foram, então, viabilizados graças ao **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**, que permite financiar projetos que evitam a emissão de gases de efeito estufa. Em seu estudo sobre o aterro de Contagem (op. cit.), a Engebio calcula que, com um crédito de carbono a €12 /t_{eq}CO₂, o projeto é rentável ao final de 5 anos. Vale destacar que atualmente o crédito de carbono está em torno de € 4,89/t_{eq}CO₂⁶. Incentivos fiscais como o ICMS Ecológico também estão relacionados à motivações para realização de projetos semelhantes.

⁴ Análise da pré-viabilidade de Contagem, Engebio 2012 (op.cit.)

⁵ Atlas brasileiro das emissões GEE e valorização energética dos resíduos sólidos urbanos, 2012, ABRELPE www.abrelpe.org.br/arquivos/atlas_portugues_2013.pdf

⁶ Fechamento do dia 03 de abril de 2014 (<http://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>)



A partir das informações disponíveis acima e supondo, de forma conservadora, a utilização de motores maiores (1.400kW, 700Nm³/h de LFG), para viabilização de projetos de MDL, o potencial de geração de energia seria de **180GWh, a partir de 22MW de potência instalada**. Esse valor, apesar de superior ao potencial atual, poderia ser ultrapassado caso a usina de geração de energia do aterro Macaúbas (Sabará) entrasse em operação, concomitantemente às usinas de geração de energia dos demais aterros.

Abaixo são relacionadas algumas informações econômicas do projetos em fase de instalação e/ou operação visando fornecer mais elementos para a discussão do potencial econômico atual.

Em Minas Gerais existem quatro empreendimentos aprovados: o aterro de Uberlândia, o projeto de gás de aterro Macaúbas, na cidade de Sabará, aterro de Juiz de Fora e aterro da BR 040, próximo a Belo Horizonte.

No aterro sanitário de Uberlândia um grupo gerador produz atualmente cerca de 2,8 MWh (geração elétrica de 22.680 MWh considerando operação de 8100 horas/ano⁷). Essa produção pode suprir a demanda energética de até 40 mil pessoas. A previsão é que a cada ano de operação, a planta energética de Uberlândia evite 99.124 t_{eq}CO₂⁸, gerando créditos de carbono de € 484.716 ao ano, considerando cotação indicada anteriormente. Todo o projeto tem estimativa de custo de cerca de € 10,8 milhões (sendo € 6,4 milhões para os primeiros anos e € 4,4 milhões para modernização dos motores após 60.000 horas de operação). Além disso, segundo relatório de validação, a venda de eletricidade irá gerar uma receita de cerca de € 23 milhões em 21 anos de geração. A Taxa Interna de Retorno (TIR) do investimento é de 1,24% e o Valor Presente Líquido (VPL) é de cerca de € 4 milhões negativos (considerando impostos e sem as receitas de MDL, o que demonstra a inviabilidade do projeto). Entretanto, considerando os benefícios do MDL e outras providências, a TIR do projeto deve chegar a 11,55%.

O aterro localizado na BR-040, contou com investimento de cerca de € 4,5 milhões e tem geração anual média de eletricidade de 17.479 MWh que deve ser comercializado junto à concessionária de energia. O projeto evitará 1.341.603 t_{eq}CO₂ que devem ser comercializados durante 10 anos de creditação (até 2019), gerando créditos de carbono no valor de € 6.560.438 (considerando cotação de € 4,89/ t_{eq}CO₂). A TIR esperada para o projeto é de 12,43% considerando a creditação.

O aterro de Macaúbas tem quantidade estimada de redução anual de GEE em 377.528 t_{eq}CO₂, o que geraria € 1.846.111 de créditos de carbono ao ano (com duração de 7 anos). A capacidade do projeto irá mudar durante a vida útil, mas é esperado que alcance 12,8 MWh

⁷ Consideração feita pelo projeto (Relatório No: 2011-3355, rev. 01). Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação.

⁸ Informações da Prefeitura de Uberlândia.



em 2018 (geração elétrica bruta de 107.254 MWh⁹). A vida útil do projeto deve ser de 25 anos e o preço por MW instalado é de R\$ 2.396.042. O investimento total deve chegar a cerca de R\$ 42 milhões. O VPL do projeto sem considerar os benefícios do MDL é de apenas R\$ 16 mil, o que reforça mais uma vez os benefícios desse mecanismo.

Não foram encontrados dados no Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI) para o projeto em Juiz de Fora, sendo assim, a discussão deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC.

Barreiras e restrições

A coleta

O potencial técnico pode ser atendido somente com um coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) eficaz. A Figura 6 representa a dinâmica da regularização ambiental dos aterros sanitários para RSU em Minas Gerais.

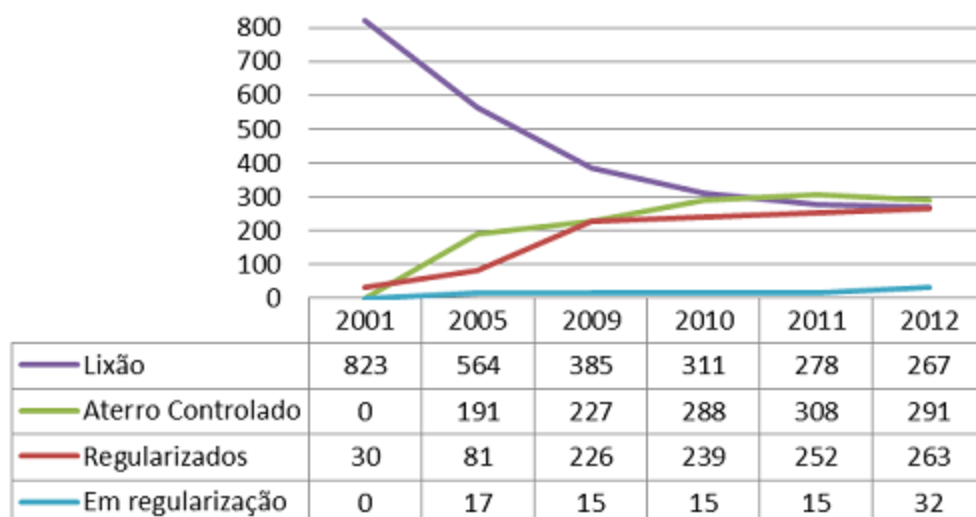


Figura 6 - Evolução da destinação dos RSU em Minas Gerais, de 2001 a 2012 (Fonte: FEAM 2012 (op.cit.))

Cerca de 263 dos 267 municípios que ainda têm lixões tem menos de 20.000 habitantes. Para se aproximar do potencial teórico estimado, seria necessário aproveitar energeticamente os resíduos desses pequenos municípios. Para ser economicamente viável, é recomendável que eles se agrupem em consórcios.

⁹ Relatório No CDMVA-12-011-01. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. Vital Engenharia Ambiental S.A.



Esse potencial não é afetado se houver coleta seletiva e reciclagem. Entretanto, a metanização é uma valorização cuja rendimento seria afetado se houver compostagem.

Sistema construtivo

Os aspectos construtivos de um aterro sanitário interferem na geração de biogás. Assim, os novos projetos, com perspectivas de aproveitamento do biogás face ao volume de RSU a serem dispostos, devem ser concebidos e implantados considerando a melhor técnica de impermeabilização dos maciços e dos sistemas de captação do biogás, otimizando a recuperação do biogás e a redução das emissões fugitivas¹⁰.

Essa tecnologia apresenta como vantagens os baixos custos de implantação, quando comparados às tecnologias de tratamento térmico, a modularidade das plantas industriais conforme o acréscimo ou decréscimo da geração do biogás, além de ser uma tecnologia consolidada em escala comercial. No entanto, a produção do biogás é variável em função do volume e idade dos resíduos depositados, sendo proveniente exclusivamente da matéria orgânica biodegradável presente nos resíduos sólidos urbanos. Outra questão importante é que aterros sanitários ocupam áreas significativas, requerendo controle ambiental e restrições de uso após o encerramento de suas atividades, gerando um passivo ambiental. Assim, faz-se necessário avaliar, sob a ótica ambiental, se a instalação de novos aterros justifica-se, considerando exclusivamente a produção de energia.

Mais informações referentes às barreiras e restrições para a geração de energia a partir de aterros sanitários em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Metanização: lodos de estações de tratamento de esgoto

Contexto

Os **lodos de esgoto** (urbanos ou industriais) são os principais resíduos produzidos por uma estação de tratamento de esgoto a partir de efluentes. Esses sedimentos residuais são constituídos principalmente por bactérias mortas e matéria orgânica mineralizada. Na França, os lodos são frequentemente colocados em aterro ou valorizados na agricultura por meio de espalhamento ou compostagem. Eles podem também, antes do espalhamento, serem

¹⁰ Aproveitamento energético de RSU : guia de orientações para governos municipais de Minas Gerais.



digeridos por bactérias anaeróbias para produzir biogás. Também podem ser incinerados, sozinhos ou com lixo doméstico.

A estabilização anaeróbia dos lodos tem a dupla vantagem de permitir uma eventual valorização energética e reduzir o volume dos lodos, que representam uma parte considerável dos custos operacionais de uma estação de tratamento de esgoto. A Figura 7 dá um exemplo dos principais módulos de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).



Figura 7 - Principais módulos da estação de tratamento de esgoto de Arrudas. Em azul, a central termelétrica (Fonte: Licença de instalação da estação)

Em 2006, Minas Gerais lançou o programa *Minas Trata Esgoto* com o objetivo de aumentar a porcentagem da população cujos efluentes domésticos são tratados por estações de tratamento, especialmente o caso dos municípios com menos de 20.000 habitantes.

O objetivo é que pelo menos 80% da população urbana seja atendida, com uma eficiência de tratamento de 60%. Somente o prazo acordado para a conformação varia com o tipo de município conforme visto na Tabela 5.



Tabela 5 - Definição dos grupos do programa "Minas trata esgoto" (Cf. Relatório de Atividade do Programa, FEAM, 2013)

Grupo	Definição do grupo (habitantes)	Número de municípios	Em % da população urbana	Prazo combinado para uma regularização completa ¹¹
1	> 150.000	13	33%	Out. 2010
2	30.000 < pop < 150.000 Índice de coleta > 70%	20	9%	Ago. 2010
3	50.000 < pop < 150.000 Índice de coleta < 70%	26	12%	Set. 2010
4	30.000 < pop < 50.000 Índice de coleta < 70%	22	6%	Ago. 2010
5	Circuito turístico <i>Estrada Real</i>	4	1%	Abril 2009
6	20.000 < pop < 30.000	33	6%	Março 2017
7	pop < 20.000	735	34%	Março 2017

Em 2012, quase 40% da população urbana de Minas Gerais era beneficiada por um tratamento regularizado de esgoto sanitário e 12% estava em processo de regularização. A Figura 8 apresenta a evolução da capacidade instalada e regularizada no estado. Para o restante, não há dados, não há tratamento, ou há um tratamento não regularizado.

¹¹ A saber: obtenção de uma Licença de Operação (LO) para os 4 primeiros grupos e de uma Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF), menos formal, para os municípios pequenos.

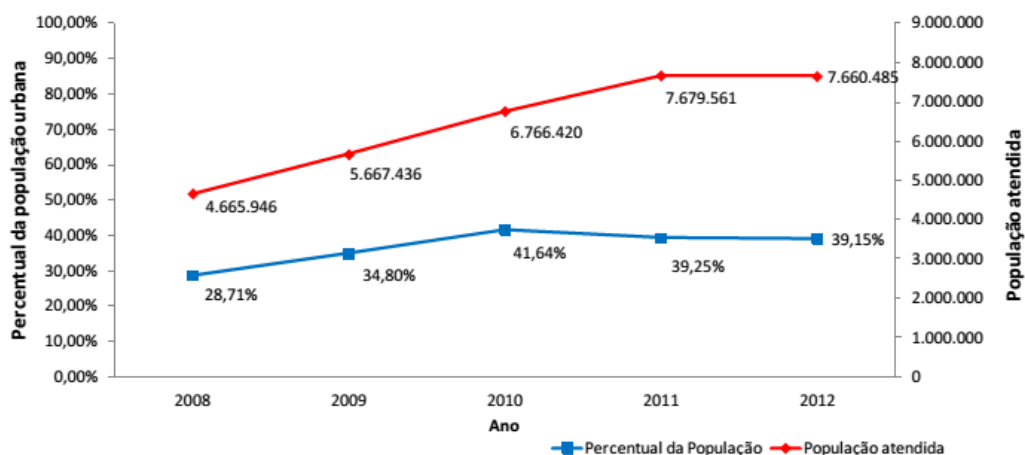


Figura 8 - Evolução da capacidade instalada e regularizada para o tratamento dos esgotos sanitários, entre 2008 e 2012 (Fonte: Relatório de Atividade FEAM (op.cit.))

Inventário de estações de tratamento com aproveitamento energético

Minas Gerais possuía, em 2013, apenas uma estação de tratamento de esgotos que comportava uma central termelétrica. Apresenta-se na Tabela 6 suas principais características.

Tabela 6 - Características da estação de tratamento de esgoto de Arrudas (Fonte: Licença de Instalação)

Estação de tratamento de esgotos	Vazão tratada (m ³ /s)	População beneficiada	DBO entrada (mg/L)	CH4 emitido (m ³ /dia)	Potencial
Arrudas	2,5	Max 1,6M	365	508.118	2,4 (MW)

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), sociedade de economia mista da qual o Estado de Minas Gerais é o principal acionista, é responsável pela coleta e tratamento de esgoto da maior parte das comunidades do estado. Essa empresa participa de maneira voluntária no Programa de Registro Público de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Minas Gerais, coordenado pela FEAM, e dispõe há 6 anos de um serviço dedicado exclusivamente à valorização do potencial energético das estações que administra (biogás, painéis fotovoltaicos).



Potencial de geração de energia

Potencial teórico

Considerando-se que 100% da população mineira tenha seus esgotos tratados, e que cada habitante tem uma Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) de 54 g DBO/hab/dia¹², o aproveitamento energético dos 363 Mm³ / ano de CH₄ gerados poderia produzir **2,5 TWh** cada ano a partir de **290 MW** de potência instalada.

Potencial técnico

O potencial teórico anterior não toma em conta restrições técnicas de recuperação de gás, disponibilidade das plantas, tamanho técnico-econômico mínimo das instalações, evolução da população, etc. Para obter um potencial tecnicamente atingível, hipóteses foram feitas. As principais são mencionadas aqui e os detalhes são apresentados no memorial de cálculo anexo.

Somente as estações com mais de 30.000 equivalente-habitante foram consideradas¹³. Nestas, 100% da população atingida está conectada à rede mas cada estação pode tratar 80% dos esgotos sanitários recebidos. Além disso, 65% do CH₄ emitido na estação é valorizado.¹⁴

Assim, o potencial técnico instalável seria de **86 MW, gerando 0,74 TWh cada ano** conforme visto na Tabela 7.

Tabela 7 - Potencial de metano, produção possível e potência instalável das estações de tratamento de esgotos de Minas Gerais, para 3 grupos de hipóteses (Fonte: EnvirOconsult)

CH ₄ captável m ³ /ano	TWh / ano	Potência instalável (MW)
107.891.188	0,74	86

Baseando-se nos dados da COPASA, encontra-se um potencial próximo a 165 MW que não considera todas barreiras técnicas e nenhuma barreiras econômicas. À exceção das duas maiores estações de tratamento de esgotos (Arrudas e Onça), **os potenciais se refeririam principalmente a centrais de microgeração (<1MW).**¹⁵

¹² Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010

¹³ *Etude de marché de la méthanisation et de la valorisation des biogaz*, Ernst & Young para a ADEME e GrDF, em 2008.

¹⁴ Segundo *Biogas from wastewater using anaerobic reactors*, FATEC, 2011, que estuda a estação de tratamento de esgotos da região noroeste de São Paulo.

¹⁵ Supõe-se que elas poderiam captar 65% do CH₄ emitido.



Potencial econômico

Atualmente, um projeto de valorização do biogás das ETEs não é competitivo em relação a outras fontes de energia. Provavelmente esse tipo de projeto poderia se beneficiar do apoio financeiro da creditação que é feita para projetos de MDL.

A discussão do potencial econômico deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de aproveitamento energético em Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

Barreiras e restrições

Além das barreiras técnicas e econômicas, fator restritivo relevante para gerar o máximo de energia possível reside no fato de **nem toda a população estar ligada à rede de saneamento**. Por exemplo, as estações com mais de 30.000 equivalente-habitantes são dimensionadas para uma população de 11,77 milhões de habitantes, mas apenas **71% dessa população está efetivamente ligada à rede**.

Assim, considerando-se os dados da COPASA, essa situação e as hipóteses tecnológicas do potencial técnico, avaliava-se o potencial técnico, em 2012, em **62 MW** pelas estações da COPASA.

Metanização : dejetos da pecuária

Contexto

A produção de biogás por meio de biodigestão anaeróbia de dejetos de animais representa uma alternativa energética favorável para mitigação dos impactos ambientais causados por dejetos produzidos pelos animais confinados e para aumento da disponibilidade de energia no meio rural.

Em Minas Gerais, a pecuária é uma atividade econômica de grande importância, que ocupa lugar de destaque no cenário nacional, sendo a bovinocultura de leite a principal atividade.

De acordo com dados do IBGE (2012), Minas Gerais é o principal estado brasileiro produtor de leite (com 5.674.293 cabeças de vacas de ordenha), responsável por 27,6% da produção nacional de leite (cerca de 8,9 bilhões litros).

A pecuária de corte também tem uma representatividade econômica bastante significativa no estado. De acordo com a mesma fonte, o rebanho mineiro, em 2012, respondia por 11,3% de todo o rebanho nacional, ficando atrás apenas do estado de Mato Grosso. A principal



prática de manejo é a criação em pastagens (extensiva), com pequena participação de efetivo de gado de corte em confinamento ou semiconfinamento.

A atividade de suinocultura possui menor importância relativa no agronegócio de Minas Gerais, se comparada à bovinocultura, porém não com menor destaque no Brasil. Em 2012, o estado possuía 13,3% do efetivo de suínos do país, ficando atrás apenas dos estados da região Sul. Para os galináceos, em 2012, Minas Gerais apresentou o quinto maior efetivo, correspondendo à 9,1% do total nacional.

A Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) publicada anualmente pelo IBGE, divulga informações sobre os efetivos de animais e a produção da pecuária, com dados para o total do Brasil, por Grandes Regiões e Unidades da Federação.

Para os anos de 2011 e 2012, no estado de Minas Gerais, o efetivo dos animais considerados nesse estudo, segundo IBGE (2012), é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Quantidade de cabeças de animais (bovinos, suínos e galináceos) e variação anual em Minas Gerais (2011 e 2012) (Fonte : IBGE 2012)

Categorias	Quantidade (cabeças)		Variação anual (2012/2011) (%)
	2011	2012	
Bovino			
Brasil	212.315.811	211.279.082	(-) 0,7
Minas Gerais	23.907.915	23.965.914	0,2
Suino			
Brasil	39.307.336	38.795.902	(-) 1,3
Minas Gerais	5.014.334	5.157.142	2,8
Galos, frangas, frangos e pintos			
Brasil	1.051.989.862	1.032.038.992	(-) 1,3
Minas Gerais	94.346.947	94.366.374	0,0
Galinhas			
Brasil	216.219.543	213.230.493	(-) 1,4
Minas Gerais	21.657.836	21.265.722	(-) 1,8

A PPM 2012 não apresenta a distribuição do efetivo de rebanho bovino por tipo de criação (em confinamento, semiconfinamento ou extensiva) e para fins de estimativa de rebanho confinado, foi adotada a proporção de animais confinados em relação ao total de bovinos apresentada no último Censo Agropecuário do IBGE (2009), ano base 2006 (Tabela 9).



Tabela 9 - Bovinos confinados e total de bovinos em Minas Gerais (Fonte: Censo Agropecuário 2006)

Estabelecimentos com mais de 50 cabeças de bovinos em 31.12, por animais confinados – Minas Gerais - 2006				
Variáveis selecionadas	Estabelecimentos com mais de 50 cabeças de bovinos em 31.12			
	Total de bovinos	Bovinos confinados		
		Estabelecimentos	Animais confinados	% de animais confinados
Total	15 437 528	3 256	528 344	3,4%

Os dejetos de gado de corte criados em confinamento (ou criadouros que não utilizam água para limpeza dos dejetos) e as camas de aviários possuem baixo teor de umidade e, usualmente não são submetidos à biodigestão anaeróbia. Todavia, ambos os dejetos poderiam ser submetidos à processos de biodigestão anaeróbia em via seca.

Segundo Yu e Schanbacher (2010), os dejetos produzidos em animais de criadouros oferecem o mais abundante insumo individual, em larga escala, para produção de biogás. Entretanto, devido à baixa concentração de substratos facilmente degradáveis, a formação de biogás a partir de dejetos animais é geralmente lenta. Assim, quando digeridos isoladamente, os dejetos animais demandam elevados tempos de retenção. A co-digestão com substratos pobres em nitrogênio e ricos em carboidratos, como resíduos de alimentos processados e resíduos orgânicos domiciliares, podem aumentar significativamente a produção de metano e estabilizar o processo de digestão anaeróbia dos dejetos.

Esses dejetos poderiam também ser diluídos e digeridos em sistemas úmidos convencionais. Para esterco bovino de gado de corte confinado, uma suspensão contendo 12% de sólidos totais pode ser digerida, porém para camas de aviários uma diluição maior é necessária (concentração de sólidos totais inferior à 3%) para minimizar a inibição pela amônia. Inevitavelmente, essas diluições criam a necessidade de grandes volumes de reservatórios e elevados custos de instalação e operação.

Grandes laticínios de criação de suínos utilizam água para lavagem das instalações, gerando resíduos com concentrações de sólidos em torno de 8%. Usualmente esses resíduos são armazenados em grandes lagoas de resíduos construídas na propriedade. Instalando-se



mantas plásticas flexíveis e impermeáveis essas lagoas podem ser convertidas em biodigestores anaeróbios do tipo lagoas cobertas¹⁶.

Inventário de instalações de aproveitamento energético de dejetos da pecuária

Sobre o tratamento de esterco animal em propriedades no estado de Minas Gerais, os dados oficiais indicam que do total de **551.621 propriedades** existentes no estado em 2006, apenas 28.613 possuíam algum tipo de tratamento do esterco, entre as quais 347 propriedades nas quais o tratamento era feito em biodigestores (IBGE, 2009), conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Tratamento de esterco animal em propriedades rurais, no estado de Minas Gerais, segundo o Censo Agropecuário 2006 (Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2006)

Variáveis selecionadas	Total de estabelecimentos	Tratamento de esterco dos animais					
		Total (1)	Feito em lago anaerobica	Feito em esterqueiras	Feito em bio digestor	Feito em composteira	Feito em outro lugar
Total	551 621	28 613	442	20 834	347	2 954	4 549

Os dados disponíveis sobre tratamento de esterco animal não diferenciam os rebanhos envolvidos, no entanto, deixam claro que a quantidade de estabelecimentos que utilizavam processos de tratamento anaeróbio com possibilidade de captação do biogás não era representativa frente ao total de estabelecimentos existentes, representando apenas 0,06% do total de propriedades. O Censo Agropecuário também não informa a quantidade de animais correspondente e nem quais dos 347 estabelecimentos efetivamente aproveitam a energia gerada em seus biodigestores.

Outras fontes de informação apresentam informações sobre capacidades instaladas e projetadas para aproveitamento energético dos dejetos animais, conforme apresentado nos itens seguintes.

O banco de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) informa que, até 2013, o estado de Minas Gerais possuía **duas usinas termelétricas** regularizadas, em operação,

¹⁶ YU et Schanbacher, op. cit.



utilizando biogás gerado em biodigestores de dejetos da suinocultura. Ambas as instalações têm **potência instalada de 80 kW**, cada, e utilizam localmente a energia elétrica gerada.

Na Tabela 11 são apresentadas as informações dessas usinas termelétricas a biogás de dejetos animais, em operação no estado de Minas Gerais, segundo a ANEEL (2013).

Tabela 11 - Usinas termelétricas registradas na ANEEL, que utilizam biogás gerado em biodigestores de dejetos da suinocultura, instaladas em MG. (Fonte : ANEEL 2013)

Usinas	Potência instalada (kW)	Proprietário	Município	Combustível
Granja Makena	80	100% Altair Olimpio de Oliveira	Patrocínio	Biogás
Fazenda Nossa Senhora do Carmo	80	100% Sérgio Elias Saraiva	Ituiutaba	Biogás
Total	160	N/A	N/A	N/A

Segundo o Relatório Anual de Atividades da CIMGC 2012, em 31 de dezembro de 2012, o Brasil possuía um total de 373 atividades de projeto aprovadas pela CIMGC, sendo 272 já registradas pelo Conselho Executivo do MDL, quantidade equivalente a 4,9% do total global, ocupando a 3ª posição no ranking mundial em número de atividades de projeto registradas.

Entre as atividades de projeto aprovadas pela CIMGC, encontram-se algumas localizadas no estado de Minas Gerais, as quais envolvem a redução de emissões de gases de efeito estufa pelo uso de biodigestores de dejetos animais com geração de energia para uso local ou simples queima em tocha.

Na Tabela 12 são apresentadas as informações sintetizadas, referentes às atividades de projeto de biodigestão de dejetos animais, aprovadas pela CIMGC no âmbito do MDL, localizadas no estado de Minas Gerais, conforme MTCL (2013).



Tabela 12 - Atividades de projeto de biodigestão anaeróbia dejetos animais, localizadas no estado de Minas Gerais, aprovadas pela CIMGC (Fonte : MCTI 2013)

Projeto	Municípios	Energia gerada (kWh/ano)	Criação	Data
Projeto de Mitigação GEE da Granja Becker	Patos de Minas	90.000	Suinocultura	01/07/2004
Projeto de Mitigação AWMS GHG BR05-B-02, Minas Gerais e São Paulo	Sete Lagoas, Rio Casca, Ururânia, Ponte Nova, Patos de Minas, Formiga, Oliveira, Pará de Minas, Coimbra	90.000	Suinocultura	01/03/2005
Projeto de Mitigação de GHG de AWMS BR05-B-05, Minas Gerais e São Paulo	Uberlândia, Ituiutaba, Indianópolis, Monte Carmelo, Esmeraldas, Pará de Minas, Ponte Nova	90.000	Suinocultura	01/05/2005
Projeto de Mitigação GEE SMDA BR05-B-13, Minas Gerais e Goiás	São José de Barra, São José Batista do, Glória, Passos, Monte Santo de Minas, Pará de Minas, São José da Varginha, Varjão de Minas, Patos de Minas, Presidente Olegário, Nova Ponte, Ituiutaba	90.000	Suinocultura	01/04/2006
Projeto de Mitigação de GEE SMDA, BR05-B-14, Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo	Alpinópolis, Uruçânia	90.000	Suinocultura	01/08/2006
Projeto de Mitigação GEE SMDA BR05-B-16, Bahia, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo	Perdigão, Patos de Minas, São José da Varginha, Patrocínio, Pará de Minas, Curvelo, Machado	90.000	Suinocultura	01/04/2006
Projeto de tratamento e utilização de dejetos de suínos Ecobio Carbon - Suinocultura Nº4	Onça do Pitangui, Canceição do Pará, Ponte Nova, Rio Casca	Não	Suinocultura	01/11/2009
Projeto de tratamento e utilização de dejetos de suínos Ecobio Carbon - Suinocultura Nº2	Pará de Minas, São Sebastião do Oeste, Onça de Pitangui, Itatiaçu	Não	Suinocultura	22/12/2010
Projeto de tratamento e utilização de dejetos de suínos Ecobio Carbon - Suinocultura Nº3	Rio Casca, Ponte Nova, Oratórios, Cataguases, Uruçaina, Lima Duarte, Guaraciaba, Juiz de Fora	Não	Suinocultura	01/12/2010



Ao total foram aprovados 9 atividades de projeto de biodigestão anaeróbia de dejetos de animais, os quais contemplam 79 propriedades localizadas no estado de Minas Gerais.

Observa-se que a quantidade de energia gerada por projeto, 90.000 kWh/ano, é equivalente a uma instalação com capacidade de 10 kW, aproximadamente, operando 8.800 horas por ano. Ou seja, para fins de estimativa de capacidade de geração de energia elétrica instalada, com base nas informações disponíveis, poder-se-ia considerar um total de 60 kW para todos os projetos aprovados pela CIMGC, para o estado de Minas Gerais, no âmbito do MDL.

Potencial de geração de energia

Potencial teórico

A discussão do potencial teórico deverá ser realizada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência com universidades e institutos de pesquisa. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

Potencial técnico

Segundo o IPCC (2006), os principais fatores que influenciam a emissão de metano pelo manejo de dejetos animais são a quantidade de dejetos produzida e a fração desses dejetos que se decompõe anaerobicamente. A primeira depende da produção por animal e do número de animais e a segunda de como os dejetos são manejados. Quando os dejetos são armazenados ou tratados em meio líquido, como em lagoas e fossas, eles são decompostos anaerobicamente e podem produzir quantidade significativa de metano. A temperatura e o tempo de retenção da unidade também afeta a quantidade de metano produzida.

Quando o esterco é manipulado a seco, como por exemplo em pilhas, ele tende a se decompor sob condições aeróbicas e menos metano é produzido.

Em biodigestores anaeróbios não agitados, de fluxo pistonado, com tempos de retenção entre 21 e 40 dias, é possível produzir biogás com teores de metano superiores à 60%, sob taxas de 0,37 a 0,79 m³ de biogás por m³ de reator por dia. Embora praticamente isento de manutenção, esses reatores têm produção de gás bastante lenta devido à baixa taxa de transferência de massa¹⁷.

Utilizando reatores de mistura contínua a produção de biogás é aumentada e os tempos de retenção hidráulicos reduzidos. A utilização de reatores agitados reduz também o volume do digestor requerido para tratamento dos dejetos de um mesmo número de animais.

¹⁷ YU et Schanbacher, op. cit.



O IPCC apresenta três métodos para estimativa das emissões de metano pelo manejo de dejetos animais. O método simplificado somente requer o tamanho do rebanho por espécie de animal/categoria e o clima ou temperatura da região, em combinação com fatores de emissão padrão, e por simplificação, será adotado nesse estudo para estimativa do potencial energético dos dejetos de animais de criadouros.

A equação (1) apresentada a seguir combina as variáveis citadas para cálculo do potencial de emissão de metano de dejetos animais:

$$CH_4 = \sum_T (EF_T * N_T) \quad (1)$$

Onde:

- CH_4 = emissões de metano a partir do manejo de dejetos, para uma população definida, em $kg\ CH_4 \cdot ano^{-1}$
- EF_T = Fator de emissão por categoria de rebanho, em $kg\ CH_4 \cdot cabeça^{-1} \cdot ano^{-1}$
- N_T = Número de cabeças por categoria de rebanho T no estado de Minas Gerais;
- T = categoria de rebanho.

Os fatores de emissão padrão, aplicáveis ao estado de Minas Gerais, segundo o IPCC (2006), são apresentados na Tabela 13 para cada categoria de rebanho.

Tabela 13 - Fatores de emissão de metano por categoria de rebanho (Fonte: IPCC 2006)

Categoria de rebanho	Temperatura média considerada (°C)	Fator de emissão para manejo de dejetos $kgCH_4 / cabeça-ano$
Bovinos	20	1,0
Suínos	20	1,0
Aves	20	0,02

Aplicando a metodologia apresentada, o potencial energético técnico dos dejetos de criações de gado em regime confinado, suínos e aves, considerando os tamanhos de rebanho em 31 de dezembro de 2012, conforme IBGE (2013) foi estimado em **115.117 MWh/ano**, conforme apresentado na Tabela 14.



Tabela 14 - Potencial técnico de energia a partir de dejetos de animais (Fonte: Engebio 2013)

Categorias	Rebanho 2012 cabeças	Fator de emissões kgCH ₄ /cabeça/ano	Emissões de CH ₄ do manejo de dejetos kgCH ₄ /ano	Potencial de energia	
				kcal.ano**	MWh/ano
Bovino*	814 841	1,00	814 841	9 740 610 223	11 328
Suíno	5 157 142	1,00	5 157 142	61 648 475 468	71 697
Galos, frangas, frangos e pintos	94 366 374	0,02	1 887 327	22 561 112 696	26 239
Galinhas	21 265 722	0,02	425 314	5 084 208 816	5 913
Total	N/A	N/A	8 284 625	99 034 407 202	115 117

*Considerando o percentual de 3,4% de animais confinado, segundo IBGE 2006

**PCI do CH₄ igual a 11 954 kcal/kg

Observa-se que o maior potencial está associado à **criação de suínos**, 71.697 MWh/ano, o que corresponde à 62% do potencial total estimado.

As criações de bovinos não representam um potencial energético expressivo em Minas Gerais, uma vez que a principal prática de manejo é a criação em pastagens, com pequena participação de efetivo de gado em confinamento ou semiconfinamento.

Para o ano de 2020, a projeção de potencial de energia é apresentado na Tabela 15. A projeção é baseada na variação de cabeças entre os anos de 2011 e 2012. A partir dessa variação projetou-se o número de cabeças em 2020. Assim, o potencial técnico para 2020 alcança 132.749 MWh/ano, representando um aumento de 15,25% em relação a 2012.



Tabela 15 - Projeção para 2020 do potencial técnico de energia a partir de dejetos de animais (Fonte: Engebio 2013)

Categorias	Rebanho 2020 Cabeças	Fator de emissão kgCH ₄ /cabeça/ano	Emissão de CH ₄ do manejo de dejetos kgCH ₄ /ano	Potencial de energia	
				Kcal/ano**	MWh/ano
Bovino*	830.790	1,00	830.790	9.931.263.675	11.550
Suino	6.456.182	1,00	6.456.182	77.177.195.098	89.757
Galos, frangas, frangos e pintos	94.366.374	0,02	1.887.327	22.561.112.696	26.239
Galinhas	18.712.665	0,02	374.253	4.473.823.838	5.203
Total	-	-	9.548.552	114.143.395.307	132.749

* Considerando o percentual de 3,4% de animais confinados, segundo IBGE (2006)

** PCI do CH₄ igual a 11.954 kcal/kg

Outros fatores relacionados aos potenciais técnicos são descritos abaixo:

- Simplicidade de instalação, operação e manutenção dos reatores do tipo lagoas cobertas.
- Co-digestão com resíduos sólidos orgânicos ricos em carboidratos e com baixo teor de nitrogênio podem aumentar significativamente a eficiência de produção de biogás.
- Para a predição, controle e maximização da produção de biogás, a biodigestão anaeróbia requer o desenvolvimento de tecnologias.

Potencial econômico

Lagoas cobertas têm baixos custos de instalação, operação e manutenção quando comparadas a outras tecnologias.

Alguns fatores que afetam o potencial econômico estão ligados a políticas de incentivo. São elas:

- Programa estadual “ENERGIA PARA O DESENVOLVIMENTO”, o qual tem o objetivo de diversificar a matriz energética em Minas Gerais, ampliando sua sustentabilidade ambiental entre 2014 e 2017 com investimentos de mais de 500 milhões de reais (PPAG 2012-2015).
- Decreto Federal nº 7.520/2011, para o período de 2012 a 2014 os atendimentos rurais no Brasil deverão ocorrer no Programa de Universalização Rural (luz para todos).



- Programa ABC, instituído pelo Banco Central Brasileiro, no âmbito dos programas com recursos do BNDES, prevendo a aplicação do volume de recursos de até R\$1.000.000.000,00 (um bilhão de reais) para redução da emissão de gases de efeito estufa na Agricultura.
- Conforme a CIRCULAR SUP/AGRIS Nº 20/2013-BNDES, para o Ano Safra 2013/2014, o limite de financiamento por beneficiário é de R\$ 1.000.000 (um milhão de reais), com participação do BNDES de até 100%, com prazos de até 120 meses e carência de 60 meses.

Na Tabela 16 é possível verificar o valor associado ao crédito de carbono estimado dos projetos em Minas Gerais.

Tabela 16 - Crédito de carbono associado aos projetos de MDL do estado

Projeto	Emissão de GEE evitado durante período de creditação (teqCO ₂)	Crédito de carbono (€) ¹
Projeto de Mitigação GEE da Granja Becker	50.860	248.705,40
Projeto de Mitigação AWMS GHG BR05-B-02, Minas Gerais e São Paulo	1.521.620	7.440.721,80
Projeto de Mitigação de GHG de AWMS BR05-B-05, Minas Gerais e São Paulo	432.965	2.117.198,85
Projeto de Mitigação GEE SMDA BR05-B-13, Minas Gerais e Goiás	1.242.181	6.074.265,09
Projeto de Mitigação de GEE SMDA, BR05-B-14, Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo	554.930	2.713.607,70
Projeto de Mitigação GEE SMDA BR05-B-16, Bahia, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo	879.222	4.299.395,58
Projeto de tratamento e utilização de dejetos de suínos Ecobio Carbon - Suinocultura Nº4	355.490	1.738.346,10
Projeto de tratamento e utilização de dejetos de suínos Ecobio Carbon - Suinocultura Nº2	308.650	1.509.298,50
Projeto de tratamento e utilização de dejetos de suínos Ecobio Carbon - Suinocultura Nº3	395.210	1.932.576,90

^{*1} Valor de € 4,89 por t_{eq}CO₂

Mais informações referentes ao potencial econômico para a geração de energia a partir de dejetos da pecuária em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.



Barreiras e restrições

Abaixo são elencados alguns fatores que atuam como barreiras à metanização de dejetos da pecuária:

- Baixa eficiência de geração de biogás em lagoas cobertas.
- Lagoas cobertas possuem geralmente elevados tempos de residência e altas taxas de diluição. O controle da temperatura nesse tipo de digestor é impraticável e, por isso, podem produzir biogás com eficiência somente em áreas com temperaturas médias anuais moderadas ou elevadas;
- Acúmulo de lodo não digerido no fundo da lagoa, o qual é trabalhoso e caro de ser removido.
- Tecnologias para predição, controle e maximização da produção de biogás requerem alto grau de especialização e conhecimento técnico dos operadores e gestores.
- O sistema de geração elétrica brasileira não incentiva a venda de eletricidade gerada por biogás.
- Aproveitamento energético do biogás possui altos custos relativos de investimento envolvidos.
- Tecnologias comercialmente disponíveis para melhor aproveitamento do potencial energético demandam altos custos relativos de investimento e operação.
- Devido à grande variabilidade em muitas características físico-químicas e degradabilidade, diferentes dejetos animais demandarão diferentes tecnologias de biodigestão anaeróbia para operação eficaz e economicamente viável.

Mais informações referentes às barreiras e restrições para a geração de energia a partir de dejetos da pecuária em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Resíduos agrícolas

Contexto

Minas Gerais é um estado com alta aptidão agrícola. Em 2013, o PIB do agronegócio mineiro representou 13,9% do PIB do agronegócio nacional. No Brasil, aproximadamente 30% do consumo doméstico bruto de energia é derivado de produtos da biomassa vegetal. Além disso, segundo a ANEEL, a biomassa representa 30% dos empreendimentos de co-geração em operação no país.

Geralmente, a biomassa vegetal é aproveitada através da queima direta em fornos e caldeiras, e para aumentar a sua eficiência alguns processos e tecnologias estão sendo aperfeiçoados, como a gaseificação e a pirólise.



Os resíduos agropastoris são compostos por uma grande variedade de tipos. A caracterização mais relevante está relacionada com a umidade do resíduo, ou seja, se o resíduo é seco ou úmido. Isso determinará a tecnologia mais adequada para a transformação em energia.

É importante frisar que existem dois tipos de resíduos resultantes dos cultivos agrícolas; os resíduos agrícolas, oriundos da fase agrícola do cultivo produzidos no campo e os resíduos agroindustriais, provenientes do beneficiamento industrial da biomassa.

A escolha das culturas analisadas para fins deste estudo se deu pela disponibilidade de dados na literatura, potencial de produção de resíduos e importância em termos de produção em Minas Gerais. Sendo assim, optou-se por restringir a avaliação ao arroz, soja, milho, algodão, cana-de-açúcar e café.

A Tabela 17 apresenta as principais culturas produzidas no estado de Minas Gerais no ano de 2012¹⁸ e suas respectivas áreas plantadas, colhidas e quantidade produzida.

Tabela 17 - Culturas produzidas no estado de Minas Gerais

Cultura	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)
Algodão herbáceo	30.499	30.233	103.011
Arroz	31.976	30.375	62.101
Café	2.122.573 (área destinada ao plantio)	2.120.080	3.037.534
Cana	882.624	871.561	70.521.498
Milho	1.272.944	1.230.479	7.625.142
Soja	1.028.421	1.028.341	3.073.499

Inventário de instalações com aproveitamento energético de resíduos agrícolas

Não foi possível levantar informações acerca das instalações que já utilizam os resíduos agrícolas como fonte de energia em Minas Gerais. Esse tópico deverá ser discutido nas oficinas de trabalho com os atores envolvidos no processo participativo.

¹⁸ Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) 2012, IBGE



Potencial de geração de energia

Potencial teórico

Conforme pode ser observado nas

Figura 9 e Figura 10, as áreas que dispõem de maior quantidade de resíduos agrícolas estão localizadas nas regiões Noroeste e Triângulo Mineiro. Outros dados com relação às culturas podem ser vistas das Tabela 18 a Tabela 23. Elas dispõem de informações das quantidades produzidas, resíduos produzidos e disponíveis.

Algodão

Tabela 18 - Dados sobre o potencial energético do algodão

Região de Planejamento	Quantidade produzida (t)	Resíduos produzidos (t)	Resíduos disponíveis(t)	Energia disponível (Mj)
Alto Paranaíba	15.070	17.180	3.024	44.175.936
Central	0	0	0	0
Centro-oeste	0	0	0	0
Jequitinhonha	0	0	0	0
Zona da Mata	0	0	0	0
Noroeste	66.568	75.889	13.356	195.137.882
Norte	8.145	9.284	1.634	23.872.506
Rio Doce	0	0	0	0
Sul de Minas	0	0	0	0
Triângulo	13.228	15.079	2.654	38.773.537
Total	62.269	117.423	20.668	301.959.862



Arroz

Tabela 19 - Dados sobre o potencial energético do arroz

Região de Planejamento	Quantidade produzida (t)	Resíduos produzidos (t)	Resíduos disponíveis (t)	Energia disponível (Mj)
Alto Paranaíba	1.522	2.038	362	6.098.352
Central	4.374	5.862	1.041	17.543.197
Centro-oeste	2.199	2.947	523	8.819.766
Jequitinhonha	1.501	2.008	357	6.009.463
Zona da Mata	9.438	12.643	2.245	37.836.390
Noroeste	6.654	8.915	1.583	26.678.192
Norte	5.237	7.008	1.244	20.970.453
Rio Doce	15.164	20.315	3.607	60.792.631
Sul de Minas	14.579	19.530	3.467	58.444.418
Triângulo	1.601	2.145	381	6.418.483
Total	62.269	83.411	14.809	249.611.345

Soja

Tabela 20 - Dados sobre o potencial energético do soja

Região de Planejamento	Quantidade produzida (t)	Resíduos produzidos (t)	Resíduos disponíveis(t)	Energia disponível (Mj)
Alto Paranaíba	608.790	1.278.459	217.338	3.688.225.744
Central	12.144	25.501	4.335	73.567.886
Centro-oeste	23.233	48.790	8.294	140.754.290
Jequitinhonha	0	0	0	0



Zona da Mata	616	1.294	220	3.733.060
Noroeste	1.147.395	2.409.529	409.620	6.951.251.062
Norte	169.869	356.725	60.643	1.029.116.439
Rio Doce	0	0	0	0
Sul de Minas	44.029	92.461	15.718	266.740.618
Triângulo	1.139.423	2.392.789	406.774	6.902.954.106
Total	3.145.499	6.605.548	1.122.944	19.056.343.205

Café

Tabela 21 - Dados sobre o potencial energético do café

Região de Planejamento	Quantidade produzida (t)	Resíduos produzidos (t)	Resíduos disponíveis(t)	Energia disponível (Mj)
Alto Paranaíba	294.004	617.408	617.408	7.643.514.268
Central	9.614	20.185	20.185	249.890.284
Centro-oeste	109.943	230.879	230.879	2.858.282.408
Jequitinhonha	30.277	63.578	63.578	787.095.584
Zona da Mata	259.853	545.687	545.687	6.755.601.848
Noroeste	34.982	73.462	73.462	909.460.316
Norte	26.900	56.488	56.488	699.321.460
Rio Doce	85.861	180.307	180.307	2.232.199.956
Sul de Minas	706.179	1.482.975	1.482.975	18.359.230.496
Triângulo	39.162	82.241	82.241	1.018.143.424
Total	1.596.775	3.353.210	3.353.210	41.512.740.044



Milho

Tabela 22- Dados sobre o potencial energético do milho

Região de Planejamento	Quantidade produzida (t)	Resíduos produzidos (t)	Resíduos disponíveis(t)	Energia disponível (Mj)
Alto Paranaíba	1.766.559	3.109.145	528.554	9.445.271.074
Central	466.771	821.516	139.658	2.495.682.539
Centro-oeste	546.154	961.231	163.409	2.920.124.512
Jequitinhonha	34.908	61.437	10.444	186.639.452
Zona da Mata	231.775	407.924	69.347	1.239.232.420
Noroeste	1.446.194	2.545.300	432.701	7.732.372.112
Norte	211.195	371.704	63.190	1.129.200.604
Rio Doce	173.394	305.173	51.879	927.085.162
Sul de Minas	1.489.894	2.622.214	445.776	7.966.026.440
Triângulo	1.316.618	2.317.247	393.932	7.039.574.384
Total	7.683.462	13.522.891	2.298.891	41.081.208.700

Cana-de-açúcar

Tabela 23 - Dados sobre o potencial energético do cana-de-açúcar

Região de Planejamento	Quantidade produzida (t)	Resíduos produzidos (t)	Resíduos disponíveis(t)	Energia disponível (Mj)
Alto Paranaíba	6.647.510	1.861	1.861	24.937.400
Central	1.872.377	524	524	7.021.600
Centro-oeste	3.153.216	881	881	11.805.400
Jequitinhonha	1.077.000	304	304	4.073.600



Zona da Mata	2.363.752	658	658	8.817.200
Noroeste	5.665.380	1.587	1.587	21.265.800
Norte	1.538.873	428	428	5.735.200
Rio Doce	765.069	210	210	2.814.000
Sul de Minas	5.353.300	1.491	1.491	19.979.400
Triângulo	42.037.521	11.769	11.769	157.704.600
Total	70.473.998	19.713	19.713	264.154.200

Potencial teórico

Para fins deste estudo, considera-se potencial teórico como a quantidade total de energia fisicamente disponível nos resíduos agrícolas nas áreas de plantio de Minas Gerais. Assim, foi feito o levantamento da quantidade produzida de cada cultura por região. Os dados das quantidades de resíduo disponíveis foram então alvo de cálculos, com envolvimento do poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico superior (PCS) de cada um dos resíduos. Esses valores foram encontrados em literatura específica¹⁹. Cabe ressaltar que também foi considerada na análise a taxa de remoção, ou seja, o quanto de resíduo é possível retirar do solo de modo a garantir a ciclagem de nutrientes, essencial para a manutenção de sua qualidade.

A Tabela 24 apresenta características e valor de parâmetros utilizados para cada uma das culturas analisadas. A Tabela 25 dá os resultados finais com relação à potência que pode ser instalada e a energia disponível considerando as regiões consolidadas.

Foi considerado o potencial total do uso do bagaço da cana-de-açúcar, independente da competição desse material para o desenvolvimento do etanol de segunda geração ou outros usos que já são dados a este resíduo nas usinas do setor sucroalcooleiro.

¹⁹ Aproveitamento Energético de Resíduos Agrícolas – O caso da Agroletrecidade Distribuída . Oliveira, Luiz Gustavo Silva. UFRJ, 2011 ; Agricultural and Forest Residues Generation, Utilization and Availability. Koopmans, Auke e Koopejan, Jaap. FAO, 1997; Aspectos Ambientais e Potencial Energético no Aproveitamento de Resíduos na Indústria Sucroalcooleira. Paoliello, José Maria Morandini. UNESP 2006. ; Caracterização da Biomassa Proveniente de Resíduos Agrícolas. Vieira, Ana Carla. UFPR, 2012.



Tabela 24 – Características das principais culturas produzidas no estado

Cultura	Resíduo	Uso competitivo	RPR (Residue por product ratio)	Taxa de remoção	Umidade	PCI (MJ/kg)	PCS (MJ/kg)
Arroz	Casca	Não	0,19	40%	2,37%	17,05	-
	Palha	Não	1,15	20%	12,71%	16,82	-
Milho	Palha	Não	1,76	20%	15%	17,87	-
Algodão	Hastes, caules e folhas	Não	1,14	20%	12%	14,61	17,3
Café	Casca	Não	2,1	100%	15%	12,38	-
Soja	Palha	Não	2,1	20%	15%	16,97	-
Cana	Bagaço	Não	0,28	100%	20%	13,4	16,47

Tabela 25 - Energia disponível nos resíduos agrícolas

	PCI (MJ/kg)	Resíduos disponível (kg/h)	Energia (MJ/h)	Potência (MW)	Energia anual (GWh) ¹
Algodão	14,61	2.359,36	34.470,26	9,58	83,88
Arroz (casca)	17,05	263,81	4.498,01	1,25	10,95
Arroz (palha)	16,82	1.426,71	23.997,30	6,67	58,39
Soja	16,97	128.189,95	2.175.383,53	604,27	5.293,43
Café	12,38	382.786,53	4.738.897,24	1.316,36	11.531,32
Milho	17,87	262.430,48	4.689.632,67	1.302,68	11.411,44
Cana-de-açúcar	13,40	2.250,34	30.154,59	8,38	73,38
TOTAL	N/A	779.707,19	11.697.033,59	3.249,18	28.462,78

¹ Considerando 8760 horas



Quantidade estimada de resíduos agrícolas potencialmente disponíveis para o uso energético em Minas Gerais

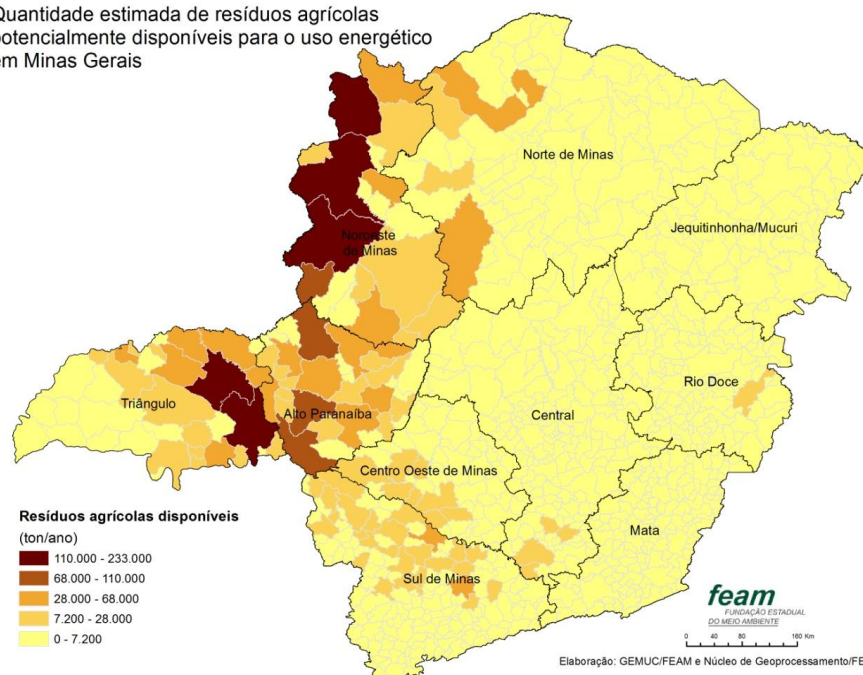


Figura 9 - Quantidade estimada de resíduos agrícolas potencialmente disponíveis para uso energético em Minas Gerais

Teor energético estimado dos resíduos agrícolas potencialmente disponíveis para uso energético em Minas Gerais

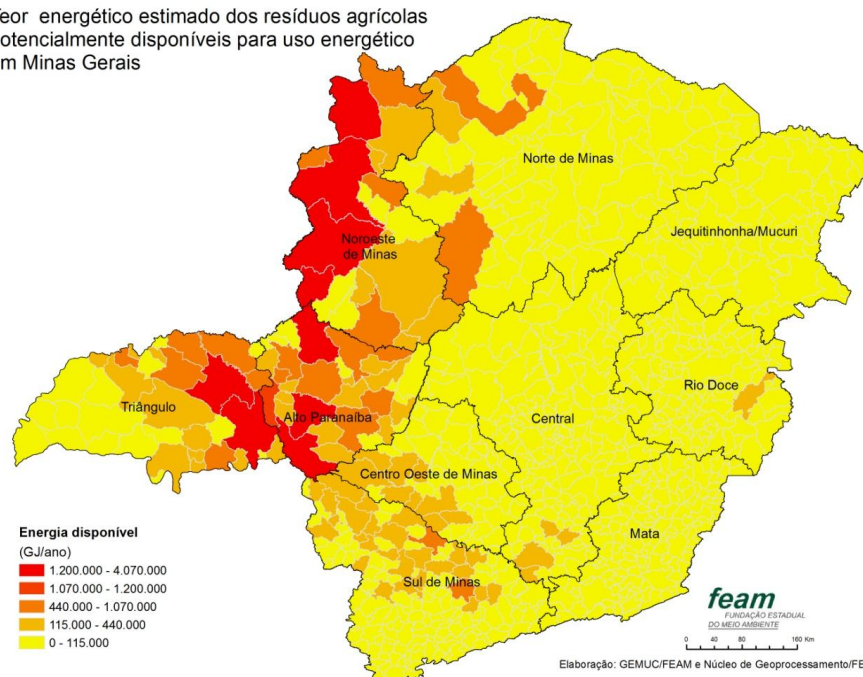


Figura 10 – Teor energético estimado dos resíduos agrícolas potencialmente disponíveis para uso energético em Minas Gerais

Cabe destacar que não foi considerada a competição entre culturas e outros usos do solo.



Potencial técnico

As informações referentes ao potencial técnico da geração de energia a partir da utilização de resíduos agrícolas em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

É interessante ressaltar que muitos desses resíduos podem ter outras aplicações e mercados e qualquer decisão que implique em sua conversão para energia deve ser estudada nesse contexto. Alguns são utilizados para fins de ciclagem de nutrientes e melhoria da qualidade do solo. A retirada dos resíduos pode, portanto resultar em um aumento da necessidade de uso de fertilizantes sintéticos e outros produtos, cuja produção por sua vez pode resultar em grandes quantidades de emissão de CO₂, o que aponta a necessidade de uma avaliação detalhada quanto a viabilidade da substituição do uso dos resíduos²⁰.

Potencial econômico

As informações referentes ao potencial econômico da geração de energia a partir da utilização de resíduos agrícolas em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Barreiras e restrições

As informações referentes às barreiras e restrições para a geração de energia a partir da utilização de resíduos agrícolas em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Bioeletricidade

Contexto

A bioeletricidade é a energia elétrica produzida a partir da biomassa (subprodutos da cana-de-açúcar como o bagaço e a palha).

Os derivados da cana-de-açúcar tem grande importância na matriz energética mineira. Eles representam 15,2% da energia produzida, ficando atrás dos derivados do petróleo (33,7%) e da lenha e derivados (21,4%), como pode ser observado na Figura 11. O bagaço da cana é usado na produção de vapor de processo e para geração de eletricidade (bioeletricidade).

²⁰ Biomass Energy Centre

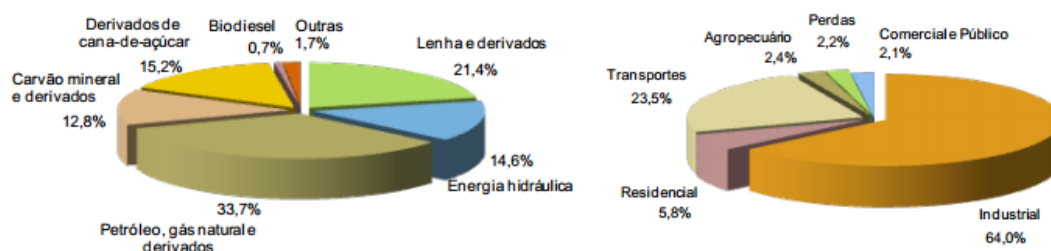


Figura 11 - Demanda de energia por fonte e setor em Minas Gerais (Fonte: BEEMG 2012, op.cit.).

No Acompanhamento da Safra Brasileira (CONAB, 2013)²¹ é apresentado um levantamento da safra 2013/2014 de cana-de-açúcar. Para a área cultivada, no Brasil, há uma previsão de crescimento equivalente a 3,7%; chegando a 8.799 mil hectares. Minas Gerais é o terceiro maior produtor com 8% (781,92 mil hectares) e crescimento de 8,32% em relação à safra de 2012/2013. A produtividade em Minas Gerais esperada é de cerca de 76.367 kg/ha e a produção de 59.712,9 mil toneladas (9,15% da produção nacional).

Inventário de usinas de bioeletricidade em Minas Gerais

Segundo a ANEEL²² existem no Brasil 392 usinas que usam a cana-de-açúcar como fonte energética. Juntas elas tem uma potência instalada de cerca de 9.339 MW. Já em Minas Gerais **38 usinas de bioeletricidade** que utilizam o bagaço da cana-de-açúcar como combustível, totalizando quase **1 GW de potência instalada**. Na Tabela 26 são apresentadas informações referentes a essas usinas.

²¹ Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil. Análise do Desempenho da Safra 2009-2010. Maio/2011.

²² Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), acessado em 07/01/2014:
www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=5&ger=Combustivel&principal=Bi omassa.

Tabela 26 - Usinas de bioeletricidade em Minas Gerais (Fonte : ANEEL 2014)

Usina	Potência fiscalizada (kW)	Destino da energia	Proprietário	Município
Triálcool	15.000	Produção Independente de Energia	100% para Laginha Agro Industrial S/A	Canápolis
Delta	31.875	Produção Independente de Energia	100% para Usina Delta S.A	Delta
Campo Florido	30.000	Produção Independente de Energia	100% para S/A Usina Coruripe Açúcar e Álcool	Campo Florido
Coruripe Iturama	24.000	Produção Independente de Energia	100% para Coruripe Energética S/A	Iturama
Volta Grande	54.938	Produção Independente de Energia	100% para Usina Delta S.A	Conceição das Alagoas
Alvorada	8.000	Produção Independente de Energia	100% para Energylev Ltda	Guaranésia
Vale do Paranaíba	5.000	Registro*	100% para Laginha Agro Industrial S/A	Capinópolis

Capítulo 1 – Biomassa de resíduos

Santo Ângelo	11.500	Autoprodução de Energia	100% para Usina Santo Ângelo Ltda	Pirajuba
WD	6.560	Produção Independente de Energia	100% para Destilaria WD Ltda	João Pinheiro
Dasa	4.200	Registro*	100% para Destilaria de Álcool Serra dos Aimorés S/A	Serra dos Aimorés
Fronteira	2.600	Registro*	100% para Vale do Ivaí S/A - Açúcar e Álcool	Fronteira
Limeira do Oeste	5.000	Produção Independente de Energia	100% para S/A Usina Coruripe Açúcar e Álcool	Limeira do Oeste
Frutal	16.092	Autoprodução de Energia	100% para Usina Frutal Açúcar e Álcool Ltda.	Frutal
Bem Brasil	2.125	Registro*	100% para Bem Brasil Alimentos Ltda	Araxá
Itapagipe	6.000	Produção Independente de Energia	100% para Usina Itapagipe Açúcar e Álcool Ltda.	Itapagipe
Veríssimo	5.000	Registro*	100% para Central Energética de Veríssimo Ltda.	Veríssimo

Capítulo 1 – Biomassa de resíduos

Carneirinho	24.000	Produção Independente de Energia	100% para S/A Usina Coruripe Açúcar e Álcool	Carneirinho
Usina Monte Alegre	18.500	Produção Independente de Energia	100% para Usina Monte Alegre Ltda	Monte Belo
Total	25.000	Produção Independente de Energia	100% para Bambuí Bioenergia S.A	Bambuí
Coruripe Energética - Filial Campo Florido	30.000	Produção Independente de Energia	100% para Coruripe Energética S/A	Campo Florido
Cerradão	25.000	Produção Independente de Energia	100% para Usina Cerradão Ltda.	Frutal
LDC Bioenergia Lagoa da Prata (Antiga Louis Dreyfus Lagoa da Prata)	60.000	Produção Independente de Energia	100% para BIOSEV S.A	Lagoa da Prata
São Judas Tadeu	56.000	Produção Independente de Energia	100% para Sada Bio-Energia e Agricultura Ltda.	Jaíba
Uberaba	12.000	Autoprodução de Energia	100% para Usina Uberaba S.A.	Uberaba

Capítulo 1 – Biomassa de resíduos

Vale do Tijuco	45.000	Produção Independente de Energia	100% para Companhia Energética de Açúcar e Álcool Vale do Tijuco Ltda.	Uberaba
Vale do São Simão	55.000	Produção Independente de Energia	100% para Companhia Energética Vale do São Simão	Santa Vitória
Bioenergética Vale do Paracatu - BEVAP	55.000	Produção Independente de Energia	100% para Bioenergética Vale do Paracatu S/A.	João Pinheiro
Ituiutaba	56.000	Produção Independente de Energia	100% para Ituiutaba Bioenergia Ltda	Ituiutaba
Passos	14.090	Autoprodução de Energia	100% para Usina Itaiquara de Açúcar e Álcool S/A.	Passos
Santa Juliana	88.000	Produção Independente de Energia	100% para Agroindustrial Santa Juliana S.A.	Santa Juliana
DVPA	28.000	Produção Independente de Energia	100% para Destilaria Vale do Paracatu Agroenergia Ltda.	Paracatu
Cabrera	25.000	Autoprodução de Energia	100% para Cabrera Central Energética Açúcar e Álcool Ltda	Limeira do Oeste

Capítulo 1 – Biomassa de resíduos

Selecta	11.400	Autoprodução de Energia	100% para Sementes Selecta S.A	Araguari
Vale do Tijuco II	40.000	Produção Independente de Energia	100% para Companhia Energética de Açúcar e Álcool Vale do Tijuco Ltda.	Uberaba – MG
Usina Coruripe Açúcar e Álcool	20.000	Produção Independente de Energia	100% para S/A Usina Coruripe Açúcar e Álcool	Iturama
Conquista de Minas	3.600	Registro*	100% para Usina Delta S.A	Conquista
Enervale	30.000	Produção Independente de Energia	100% para CENTRAL BIOENERGÉTICA ENERVALE S/A	João Pinheiro
Bio Alvorada	50.000	Produção Independente de Energia	100% para SPE Bio Alvorada S.A.	Araporã
PAM Destilaria	1.200	Não Identificado	Não Identificado	Paracatu
TOTAL	985.680			

* Usinas com capacidade instalada reduzida (até 5.000 kW) não possuem destino da energia definido.



Potencial de geração de energia

Potencial teórico

Para fins da avaliação do potencial teórico de bioeletricidade considera-se a energia total fisicamente disponível no bagaço nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Minas Gerais. Segundo a EPE (2013)²³, que tem como base os dados de 2012, a densidade do bagaço é de 130 kg/m³ e o poder calorífico inferior é de 2.130 kcal/kg, conforme a Tabela 27, são gerados 280 quilos de bagaço por tonelada de cana processada (CONAB, 2011).

Tabela 27 - Informações técnicas da cultura de cana-de-açúcar (Fonte: EPE, 2013).

DENSIDADE (kg/m ³)	PROPOÇÃO DE BAGAÇO* (kg bagaço/t cana)	PODER CALORIFICO INFERIOR (kcal/kg)
130	280	2.130

* bagaço com 50% de umidade

Com base nos dados do EPE (2013) e CONAB (2011) é possível então calcular o potencial de energia teórico, que para o ano de 2013 é de **41.389.956 MWh/ano com potência instalada de de 4.724,88 MW**. Os dados são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Potencial de energia teórico calculado para o ano de 2013 (Fonte: Engebio, 2013)

ÁREA PLANTADA EM 2013 (ha)	PRODUÇÃO DE CANA EM 2013 (t)	PRODUÇÃO DE BAGAÇO EM 2013		RENDIMENTO MÉDIO EM 2013 (m ³ /ha)	POTENCIAL DE ENERGIA TEÓRICO (MWh/ano)
		kg	m ³		
781.920	59.712.900	16.719.612.000	128.612.400	164,5	41.417.656

Com base no crescimento anual apresentado pelo CONAB (2013) referente ao crescimento da área plantada, entre a safra de 2012/2013 e 2013/2014, faz-se a projeção da área plantada em 2020. A Tabela 29 apresenta esses valores, bem como do potencial de energia teórico estimado em 2020. Há uma projeção de aumento de 75% do potencial teórico.

²³ Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Balanço Energético Nacional – Relatório Final. 2013.

Tabela 29 - Projeção do potencial energético teórico em 2020 (Fonte: Engebio, 2014)

ÁREA PLANTADA EM 2020 (ha)	PRODUÇÃO DE BAGAÇO EM 2020		RENDIMENTO MÉDIO EM 2020 (m ³ /ha)	POTENCIAL DE ENERGIA TEÓRICO em 2020(MWh/ano)
	kg	m ³		
1.368.116	29.257.160.660	225.055.082	164,5	72.475.546

Dessa forma, é possível verificar que **72.475.546 MWh/ano** podem ser gerados, sob uma potência de **8.273 MW**, quase o dobro do ano de 2013. A Figura 12 mostra o potencial de mercado e teórico de geração de bioeletricidade no país.

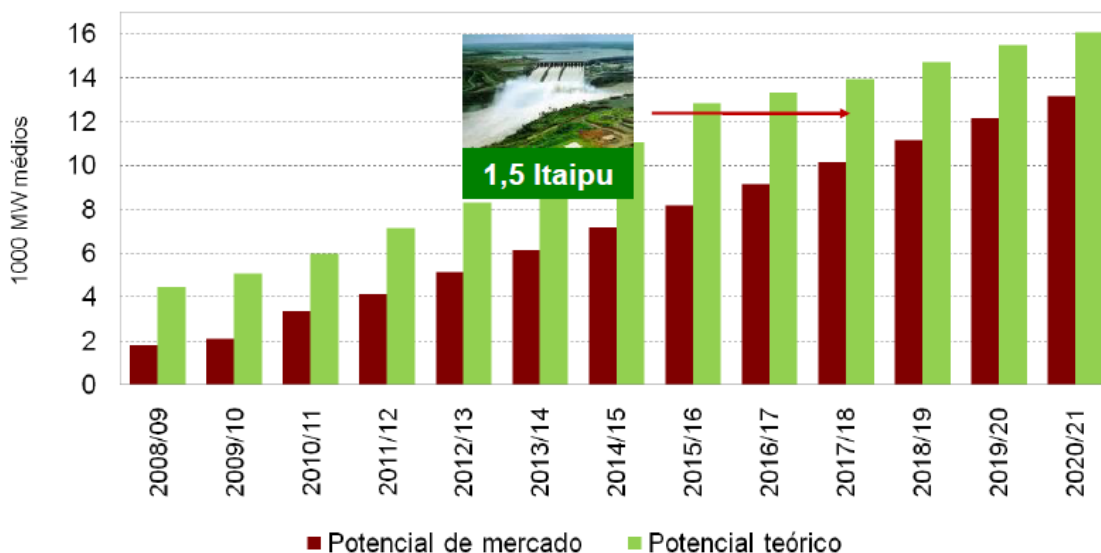


Figura 12 - Potencial brasileiro de geração de bioeletricidade no horizonte de 2020

Potencial técnico

A discussão do potencial técnico deverá ser realizada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre usinas de Minas Gerais e outras possíveis localidades, em função da necessidade de um detalhamento sobre os avanços tecnológicos, a competição entre os usos dos resíduos e as barreiras socioambientais. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.



Potencial econômico

Considerando o aumento da produção de etanol e conseqüentemente de bagaço de cana (5,7% anuais²⁴), a eletricidade gerada através do bagaço pode ser ampliada nos próximos anos em até 40% até 2020, considerando apenas o potencial econômico existente atualmente (na ausência de recursos ou intervenções adicionais).

Entretanto, segundo o MME, apenas 3,26% dos empreendimentos negociados no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) foram a partir de fontes que envolvem biomassa (2005-2013). O preço de venda de energia a partir de fonte de bagaço de cana no leilão A-5, em 2013, ficou em R\$ 133,57/MWh, valor um acima das centrais hidrelétricas. Esse valor foi também encontrado para outros leilões.

A discussão do potencial econômico deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

Barreiras e restrições

As barreiras e restrições deverão ser apuradas durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

²⁴ Dados Plano Decenal de Energia



Capítulo 2 - Biocombustíveis

Neste capítulo são abordados os chamados biocombustíveis tradicionais (líquidos e sólidos) muito utilizados no setor industrial e de transportes.

Lenha e carvão vegetal

Contexto

Até a década de 1960, predominou no Brasil a exploração de florestas nativas para o suprimento da demanda de lenha e carvão vegetal. A partir de 1966, o governo federal, através de incentivos fiscais, passou a estimular a silvicultura. Hoje, as áreas de reflorestamento destinadas ao plantio e produção de madeira para fins energéticos (lenha e carvão vegetal) são ocupadas majoritariamente por espécies exóticas, principalmente o eucalipto e o pinus, geneticamente modificadas para a obtenção de uma maior produtividade e adaptadas às condições edafoclimáticas locais.

Do total da demanda energética estadual no ano de 2011, 51% foi proveniente de fontes renováveis de energia e o restante de fontes não renováveis. Considerando as fontes renováveis, a lenha e seus derivados possuem relevante participação: 38,7%, destacando-se na matriz energética estadual com 19,7% da demanda energética total (CEMIG, 2012).

A Figura 13 apresenta a evolução da produção e consumo de lenha entre 2006 e 2011, conforme dados da CEMIG (2012). Já a Figura 14 traz a evolução da produção, importação e consumo de carvão vegetal entre 2006 e 2011, também segundo dados da CEMIG (2012).



Figura 13 - Evolução da produção e consumo de lenha no estado de Minas Gerais (CEMIG, 2012).

Setor	mil tep														
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Oferta total	7720	7249	7123	8021	7439	7702	7969	8099	8646	9033	8147	8120	6523	6517	6318
Produção	7719	7248	7121	8019	7437	7701	7968	8098	8645	9031	8146	8118	6521	6516	6317
Importação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Exportação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variação de estoques	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Consumo total	7720	7249	7123	8021	7439	7702	7969	8099	8646	9033	8147	8120	6523	6517	6301
Centros de transformação	5024	4586	4427	4950	4204	4502	4874	5199	5546	5895	5223	5251	3714	4942	4928
C. elétricas autoprodutoras	50	32	38	38	59	16	33	30	25	28	29	28	28	29	25
Carvoarias	4972	4552	4388	4910	4143	4484	4840	5168	5520	5864	5191	5221	3684	4910	4900
Destilarias	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
Consumo final	2696	2663	2696	3071	3235	3200	3095	2900	3100	3138	2924	2869	2808	1575	1373
Consumo final energético	2696	2663	2696	3071	3235	3200	3095	2900	3100	3138	2924	2869	2808	1575	1373
Residencial	1978	1857	1881	2188	2376	2328	2166	1949	2144	2155	2034	2007	1960	650	412
Comercial	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	12	15
Agropecuário	23	25	25	27	28	34	34	38	38	39	38	43	42	44	45
Transportes - total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidroviário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrial - total	686	772	781	846	821	828	885	903	908	934	842	808	794	869	901
Cal	55	56	60	60	65	54	71	92	71	80	67	61	66	85	80
Ferroligas	51	107	117	148	130	164	188	178	172	181	69	36	34	46	47
Mineração e pelotização	2	2	2	3	2	2	5	6	7	7	8	8	7	6	5
Não ferr. e out. metalurgia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Química	25	24	27	27	28	32	71	62	64	62	62	62	62	62	64
Alimentos e bebidas	162	169	175	185	185	187	177	174	188	195	193	201	193	208	207
Têxtil	30	30	32	34	31	35	36	37	40	39	42	43	37	43	43
Papel e celulose	63	65	65	77	65	48	48	43	46	46	50	47	48	41	46
Cerâmica	285	306	290	298	301	292	275	297	305	304	329	329	331	357	386
Outros	13	13	13	14	14	14	14	14	15	20	21	22	19	21	22

Figura 14 - Evolução da produção e consumo de carvão vegetal no estado de Minas Gerais (CEMIG, 2012).

Setor	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Oferta total	2666	2593	2490	2878	2776	2914	3772	4546	4196	4001	3761	3288	2332	3485	3110
Produção	2445	2245	2158	2421	2037	2212	2395	2567	2732	2912	2575	2598	1835	2446	2449
Importação	233	472	445	575	806	788	1468	2100	1566	1280	1417	863	577	860	423
Exportação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variação de estoques	23	2	1	1	1	4	2	1	1	6	6	6	6	-3	23
Não-aproveitada	-2	-3	-2	-2	-1	-3	-3	-4	-3	-25	5	0	-	-	-
Perdas distrib. armazenagem	-102	-93	-90	-101	-85	-93	-100	-107	-114	-121	-107	-108	-76	-102	-102
Ajustes	69	-30	-22	-16	18	6	10	-11	14	-52	-136	-72	-9	284	317
Consumo total	2666	2593	2490	2878	2776	2914	3772	4546	4196	4001	3760	3287	2332	3485	3110
Centros de transformação	-	-	-	-	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-
C. elétricas autoprodutoras	-	-	-	-	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-
Consumo final	2666	2593	2490	2878	2775	2913	3771	4545	4195	4001	3760	3287	2332	3485	3110
Consumo final não-energético	1	-	2	2	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Consumo final energético	2665	2593	2488	2876	2773	2912	3770	4544	4195	4001	3760	3287	2332	3485	3110
Residencial	16	16	16	16	16	17	17	17	18	18	19	19	21	18	33
Comercial	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5
Industrial - total	2646	2573	2468	2856	2753	2891	3749	4523	4173	3978	3737	3263	2306	3461	3072
Cimento	130	101	98	95	105	116	167	181	185	217	177	245	197	212	269
Cal	11	11	12	12	12	10	9	9	10	11	12	13	11	10	11
Siderurgia integrada	605	628	612	554	511	638	606	640	785	790	744	825	629	922	972
Siderurgia não-integrada	1546	1489	1383	1769	1749	1721	2506	3160	2707	2507	2436	1825	1177	1848	1458
Ferroligas	291	281	301	363	312	352	403	470	422	389	301	289	227	397	286
Outros da siderurgia	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5
Mineração e pelotização	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Não ferr. e out. metalurgia	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Química	13	17	19	18	19	16	16	17	17	18	19	20	17	19	20
Alimentos e bebidas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Papel e celulose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cerâmica	36	41	38	40	40	33	37	40	41	40	44	44	44	48	51
Outros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Compreende carvão vegetal granulado e finos de carvão vegetal.

Podemos perceber que a produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais é insuficiente para atender a sua demanda doméstica, sendo necessária a **importação** de outros estados. Em 2011, a importação de carvão vegetal correspondeu à 423 mil tEP (toneladas equivalentes de petróleo).

Dos 6,3 milhões de tEP de lenha produzidos, as carvoarias absorveram 77,6%. O setor industrial e o residencial absorveram, respectivamente, 64,7% e 29,0% do total de lenha distribuída.

O setor industrial é o grande responsável pelo consumo do carvão distribuído, representando 98,7% do consumo. Do carvão destinado a esse setor, 1.458 mil tEP, ou seja, 47,4% foram consumidos pela indústria não-integrada de ferro gusa. A Figura 15 apresenta o balanço energético da lenha e seus derivados para o estado de Minas Gerais em 2010, conforme CEMIG (2012).

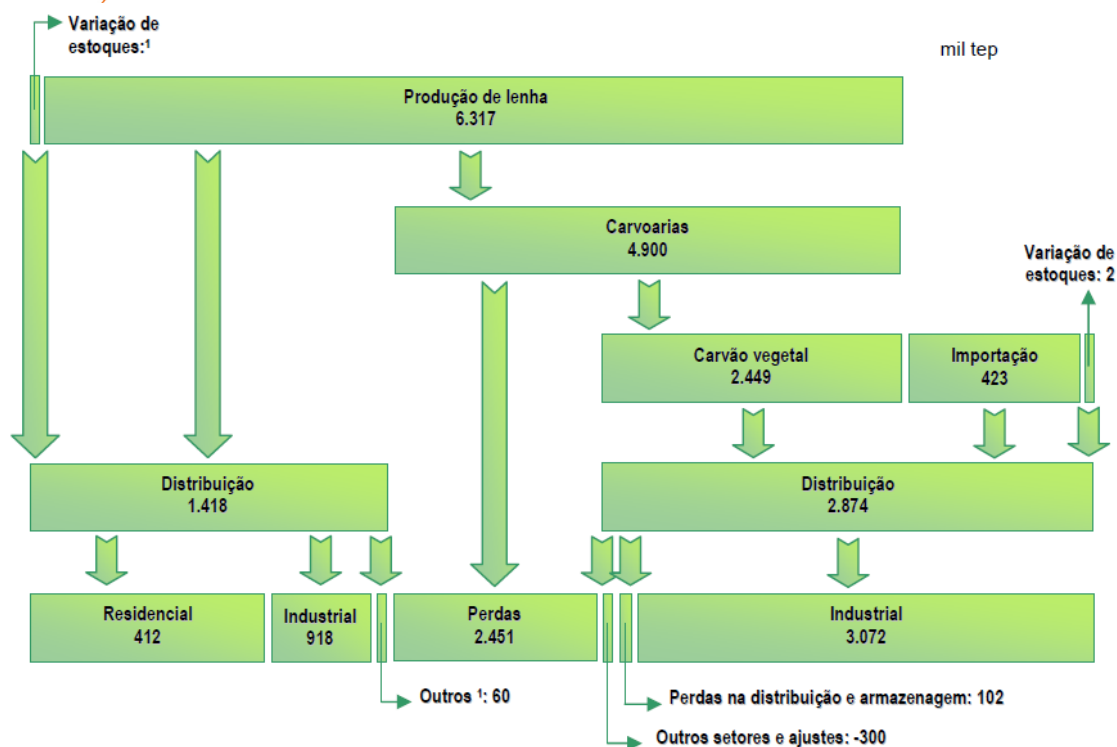


Figura 15 - Balanço energético da fonte lenha e derivados, no ano de 2010, em Minas Gerais (CEMIG, 2011)

De acordo com a EPAMIG (2010), os maiores agentes reflorestadores entre 2004 e 2008 foram as indústrias siderúrgicas independentes (guseiras), as integradas, as produtoras de celulose, as produtoras de ferroligas e os produtores independentes, sendo que os quatro (4) maiores agentes reflorestadores são também os maiores consumidores de matéria-prima florestal no estado.

Na Figura 16 é apresentada a evolução do plantio florestal de eucalipto e pinus de 2006 a 2012, em Minas Gerais, segundo a ABRAF (2013). Nota-se que, enquanto o plantio de eucalipto vem aumentando de ano a ano, o plantio de pinus está diminuindo. Segundo a ABRAF (2013), em 2012, foram cultivados em Minas Gerais mais de 1, 4 milhões de hectares de eucalipto e 52,7 mil hectares de pinus.

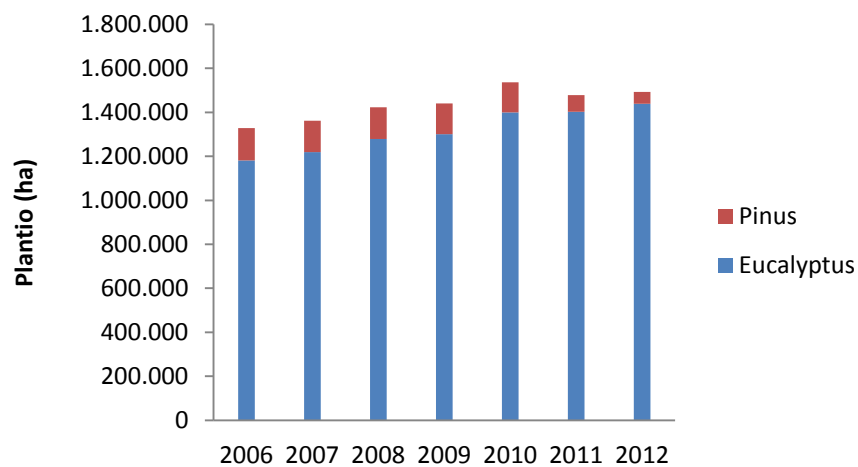


Figura 16 - Evolução do plantio de eucalyptus e pinus em Minas Gerais (Fonte: ABRAF, 2013)

A participação do plantio florestal de eucalypto e pinus no cenário nacional e parcela do estado de Minas Gerais, podem ser visualizada nas Figura 17 e Figura 18.

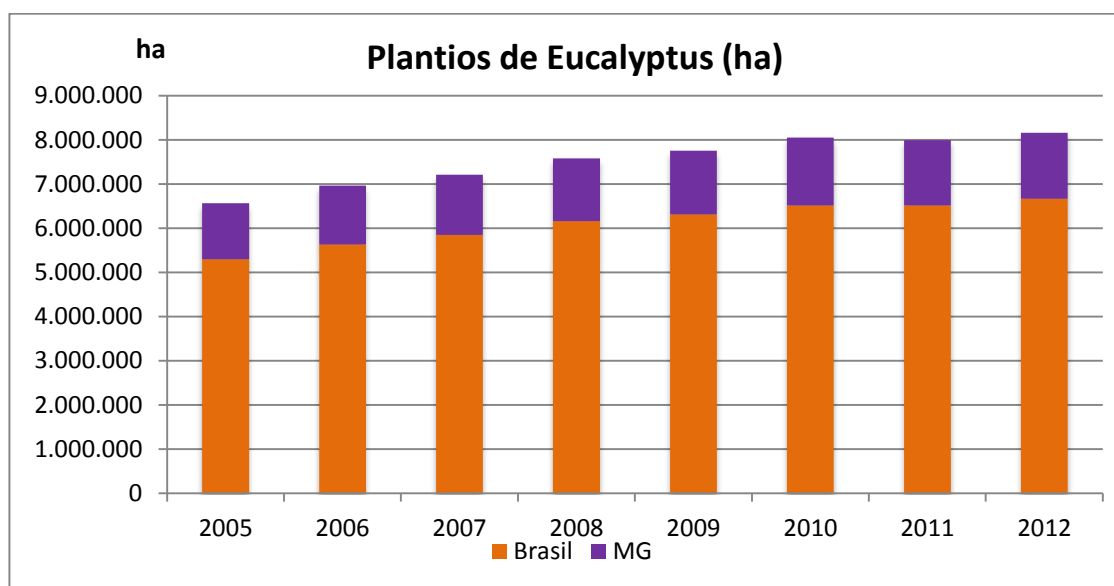


Figura 17 - Evolução da área plantada de eucalypto em MG . (Adaptado de ABRAF, 2013)

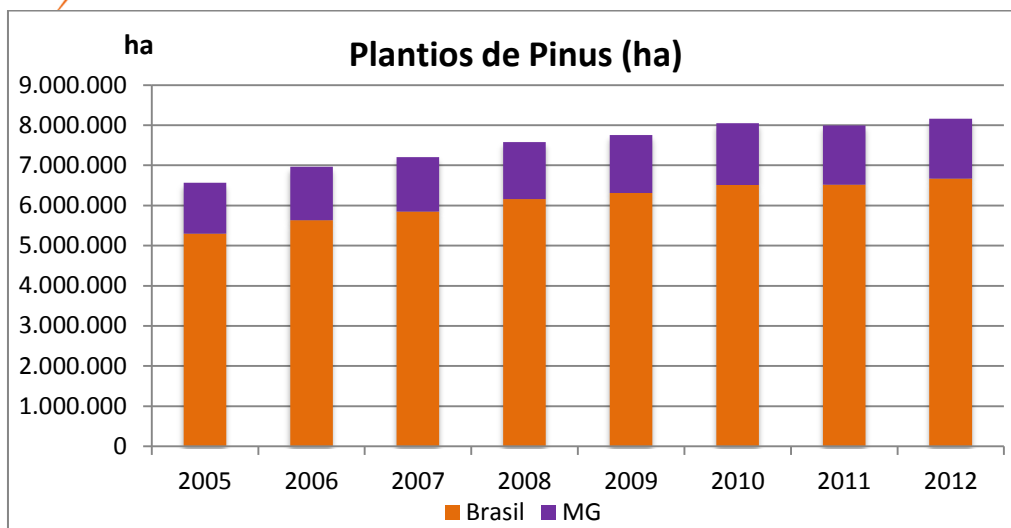


Figura 18 - Evolução da área plantada de pinus em MG . (Adaptado de ABRAF, 2013)

No que se refere a área total de florestas plantadas, em 2012, Minas Gerais representou 22,38% do total do país, o que pode ser visualizado na Figura 19. Ainda sim, há necessidade de ampliação da área plantada no estado na ordem de 300 mil hectares/ano nos próximos anos, entre novos plantios e reformas para atender a demanda de acordo com a EPAMIG.²⁵

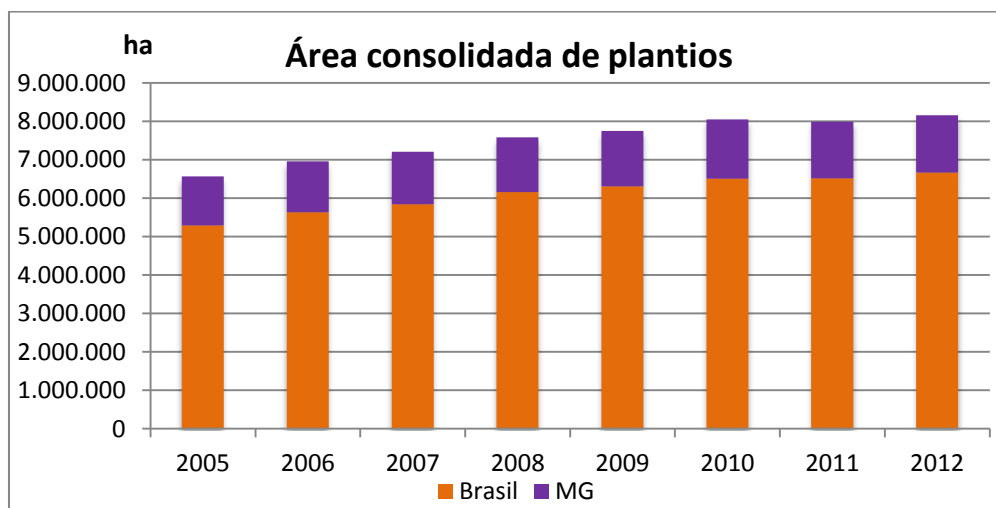


Figura 19 - Evolução da participação de Minas Gerais na área total plantada no Brasil. (Adaptado de ABRAF, 2013)

²⁵ Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG 2010. O setor de produção do carvão vegetal em Minas Gerais : pontos críticos e potencialidades. REZENDE, J. B., SANTOS, A. C. Viçosa



Já a Associação Mineira de Silvicultura (AMS) projetou a necessidade de um aumento de 120.000 hectares/ano, a partir do ano de 2014, para atendimento da demanda de florestas energéticas no estado de Minas Gerais, conforme apresentado na Figura 20.

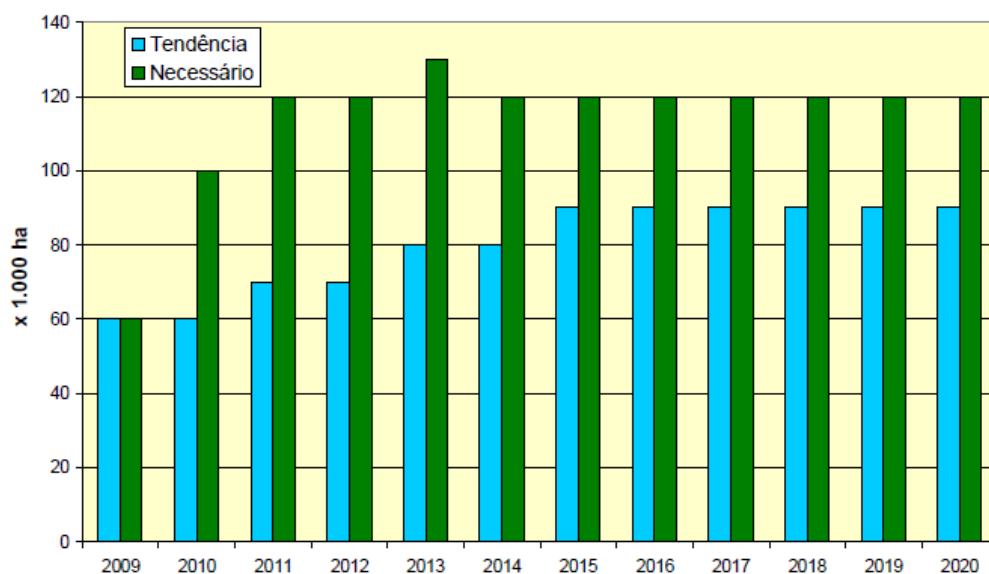


Figura 20 - Tendência de aumento de áreas de florestas plantadas e demanda projetada para MG. (Fonte: AMS 2009)

Segundo dados do IBGE, em 2012, Minas Gerais foi o quarto estado brasileiro em quantidade de lenha da silvicultura produzida, com 6.898.329 m³, atrás dos três estados da Região Sul e empatado com São Paulo, sendo responsável por aproximadamente 12% da produção nacional.

Minas Gerais se destaca também como produtor e consumidor de carvão vegetal no Brasil devido ao seu representativo parque siderúrgico. Apenas uma pequena parte do carvão vegetal produzido no país é consumida pelo setor doméstico, conhecido como “carvão para churrasco”, sendo as empresas siderúrgicas as maiores responsáveis pelo consumo, utilizando-o como combustível e termorredutor do minério de ferro (Fontes, 2005).

Em 2010, ocorreu um aumento no consumo de carvão vegetal e finos de carvão de 49,4% (de 2.332 mil tEP para 3.485 mil tEP) em função, principalmente, da recuperação das atividades do setor siderúrgico. Tal recuperação também contribuiu para o aumento de 33,3% na produção e de 49,1% nas importações deste energético em relação a 2009. As importações de coque metalúrgico e carvão vegetal cresceram, em 2010, 29,0% em relação a 2009. A Figura 21 mostra a evolução da oferta e consumo do carvão vegetal em Minas Gerais.

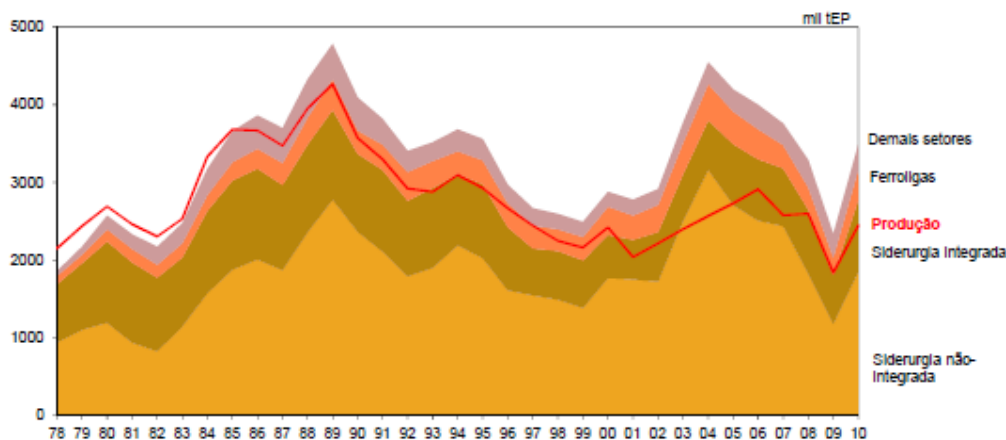


Figura 21 - Evolução da oferta e do consumo de carvão vegetal (Fonte: BEEMG 2012, op.cit.)

A produção de carvão vegetal oriundo da silvicultura no Brasil, em 2012, foi de 5.097.809 toneladas, 23,5% superior à obtida no ano anterior. Minas Gerais foi o estado que apresentou a maior produção (4.335.499 toneladas), respondendo por 85,0%. Dos 20 maiores municípios brasileiros produtores de carvão, 18 são de Minas Gerais e respondem por 50,7% do total nacional obtido em 2012.

Na Tabela 30 são apresentadas a quantidade produzida e a participação, em relação à produção nacional, dos 20 maiores municípios produtores de carvão vegetal.

Tabela 30 - Quantidade produzida e participação dos 20 maiores municípios produtores de carvão vegetal (Fonte: IBGE 2012)

Municípios produtores e respectivas Unidades da Federação	Carvão vegetal		
	Quantidade produzida (t)	Participações (%)	
		Relativa	Acumulada
Brasil	5.097.809	100,0	-
João Pinheiro - MG	362.439	7,1	7,1
Itamarandiba - MG	330.299	6,5	13,6
Grão Mogol - MG	204.000	4,0	17,6
Olhos-d'Água - MG	152.560	3,0	20,6
Lassance - MG	151.865	3,0	23,6



Turmalina - MG	148.000	2,9	26,5
Curvelo - MG	139.874	2,7	29,2
Felixlândia - MG	125.481	2,5	31,7
Padre Carvalho - MG	123.000	2,4	34,1
Rio Pardo de Minas - MG	121.381	2,4	36,5
Lagoa Grande - MG	108.752	2,1	38,6
Bom Jardim - MA	108.578	2,1	40,7
Carbonita - MG	98.756	1,9	42,7
Guaraciama - MG	92.600	1,8	44,5
Três Marias - MG	90.744	1,8	46,3
Açailândia - MA	90.078	1,8	48,0
Buritzeiro - MG	89.032	1,7	49,8
Brasilândia de Minas - MG	86.256	1,7	51,5
Josenópolis - MG	81.900	1,6	53,1
Uberlândia - MG	78.000	1,5	54,6

Inventário de empreendimentos produtores de carvão vegetal com fins energéticos

Segundo o IBGE (2009), em 2006 no estado de Minas Gerais, existiam **218 estabelecimentos produtores de carvão vegetal** a partir de florestas plantadas, conforme se observa na Tabela 31 a seguir.



Tabela 31 - Estabelecimentos produtores de carvão vegetal, em MG, e quantidade produzida (Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2006)

Variáveis selecionadas	Produção de Carvão Vegetal				
	Estabelecimentos	Produção com matéria-prima			Quantidade vendida (t)
		Própria (t)	Adquirida (t)	Própria + Adquirida	
Produção florestal - florestas plantadas	218	74.353	122	74.475	74.403

Sobre as instalações consumidoras de carvão vegetal existentes, segundo o SINDIFER (2012) existem no estado de Minas Gerais **64 usinas produtoras de ferro**, concentradas nas regiões noroeste e oeste, conforme se observa na Tabela 32.



Tabela 32 - Empresas produtoras de ferro em Minas Gerais (Fonte : SINDIFER 2012)

REGIÃO NOROESTE		
Município	Nº de Usinas	Capacidade Instalada t/mês
Sete Lagoas	21	306.600
Matozinhos	03	20.000
Curvelo	02	22.000
Pedro Leopoldo	01	8.000
TOTAL NOROESTE	28	364.600
REGIÃO OESTE		
Município	Nº de Usinas	Capacidade Instalada t/mês
Divinópolis	11	83.600
Itaúna	04	43.500
Pará de Minas	02	34.000
Bom Despacho	02	19.500
S. Gonçalo do Pará	02	8.000
Conceição do Pará	01	6.000
Carmo da Mata	01	1.500
Carmo do Cajuru	01	3.000
Nova Serrana	01	7.000
Lagoa da Prata	01	5.400
Itaguara	01	5.000
Pitangui	01	26.000
Itatiaiuçu	01	8.000
Maravilhas	01	4.000
TOTAL OESTE	30	254.500
GRANDE BH E OUTRAS		
Município	Nº de Usinas	Capacidade Instalada t/mês
Betim	01	35.000
Alfredo Vasconcelos	01	9.000
Cons. Lafaiete (Gagé)	01	10.000
Itabira	01	8.500
Itabirito	01	7.000
Gov. Valadares	01	3.700
TOTAL GRANDE BH e OUTRAS	06	73.200

É interessante destacar que algumas usinas siderúrgicas já possuem centrais termelétricas, utilizando os gases oriundos dos processos de fabricação do ferro-gusa que são queimados em caldeiras para a geração de energia elétrica.



O banco de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (ANEEL, 2013) informa que o estado de Minas Gerais possui 11 usinas termelétricas regularizadas, em operação, utilizando o gás de alto forno de siderurgia, totalizando **259 MW** de capacidade instalada.

Na Tabela 33 são apresentadas as informações das usinas termelétricas à gás de alto forno de siderurgia, em operação no estado de Minas Gerais, segundo a ANEEL (2013).

Tabela 33 - Usinas termelétricas registradas na ANEEL, que utilizam gás de alto forno de siderurgia, instaladas em MG. (Fonte: ANEEL 2013)

Usina	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Combustível
Açominas	102.890	Autoprodução de Energia	100% para Gerdau Açominas S/A	Ouro Branco	Gás de Alto Forno
Ipatinga	40.000	Produção Independente de Energia	100% para Usina Térmica Ipatinga S/A	Ipatinga	Gás de Alto Forno
Barreiro	12.900	Produção Independente de Energia	100% para Usina Termelétrica Barreiro S/A	Belo Horizonte	Gás de Alto Forno
Brasil Verde	1.200	Registro*	100% para Brasil Verde Agroindústrias Ltda	Conceição do Pará	Gás de Alto Forno
Usiminas	18.810	Autoprodução de Energia	100% para Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A	Ipatinga	Gás de Alto Forno
Siderpa	2.400	Registro*	100% para Siderúrgica Paulino Ltda	Sete Lagoas	Gás de Alto Forno
Calsete	2.000	Registro*	100% para Calsete Siderurgia Ltda	Sete Lagoas	Gás de Alto Forno
Usiminas 2	63.155	Autoprodução de Energia	100% para Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A	Ipatinga	Gás de Alto Forno
Valinho	2.000	Registro*	não identificado	Divinópolis	Gás de Alto Forno
Metalsider	8.800	Produção Independente de Energia	100% para Metalsider Ltda	Betim	Gás de Alto Forno
Plantar	5.000	Registro*	100% para Plantar Siderúrgica S.A	Sete Lagoas	Gás de Alto Forno
TOTAL	259.155				

* Usinas com capacidade instalada reduzida (até 5.000 kW) não possuem destino da energia definido.



Nas Tabela 34 e Tabela 35 são apresentadas as informações sintetizadas referentes às atividades de projeto aprovadas pela CIMGC no âmbito do MDL localizadas no estado de Minas Gerais, conforme MTCI (2013).



Tabela 34 - Atividades de projeto de aproveitamento energético – siderurgia e carvão vegetal, localizadas no estado de Minas Gerais, aprovadas pela CIMGC (Fonte: MCTI 2013)

Nº. projeto	Projeto	Empresa	Município	Potência instalada/Capacidade de produção	Combustível	Ano
8/2005	UTE Barreiro de geração de energia elétrica renovável.	Usina Siderúrgica Integrada do Barreiro – V&M do Brasil	Belo Horizonte	12.9 MW	Gás de alto-forno e alcatrão de madeira	01/01/2004
163/2007	Mitigação de Emissões de Metano na Produção de Carvão Vegetal da Plantar	Plantar S/A	Belo Horizonte, Felixlândia e Morada Nova de Minas e a região de Curvelo	83.038 toneladas de carvão vegetal ao ano	Carvão Vegetal	06/03/2007

Tabela 35 - Atividades de projeto – carvão vegetal e florestas plantadas, localizadas no estado de Minas Gerais, aprovadas pela CIMGC (Fonte: MCTI 2013)

Nº projeto	Área	Projeto	Empresa/Propriedade	Município	Combustível	Ano
228/2008	6.388,19 ha 5.323,18 ha	Reflorestamento como Fonte Renovável de Suprimento de Madeira para Uso Industrial no Brasil	Jacaré/Riachão Buriti Grande	Felixlândia Morada Nova de Minas	Carvão Vegetal	06/03/2007
395/2012	59.624,43 ha	Uso do carvão vegetal de biomassa renovável originária de plantios florestais para produção de ferro-gusa na Vallourec & Mannesmann do Brasil.	Usina Siderúrgica Integrada do Barreiro – V&M do Brasil	Belo Horizonte	Uso de biomassa plantada	17/08/2012



Potencial de geração de energia

Potencial teórico

Para fins deste estudo, o potencial teórico foi calculado convertendo-se toda a área de floresta plantada em Minas Gerais, tanto de eucalipto quanto de pinus, no ano de 2012, em energia fisicamente disponível. Como não foi possível refinar a informação por idade dos plantios, consideramos que toda a área já possui a idade média de corte. Portanto, o potencial teórico associado às florestas plantadas no estado de Minas Gerais atualmente equivale à **542.719 GWh**, conforme apresentado na Tabela 36. Este valor representa um potencial de 0,36 GWh/ha.

Tabela 36 - Potencial energético teórico de florestas plantadas no estado de Minas Gerais - 2012

Gênero	Área plantada em 2012 (ha)	Potencial Energético (GWh)	Potencial Energético (GWh/ ha)
Pinus	52.710	26.780,6	0,5
Eucalipto	1.438.971	515.938,8	0,35
Total	1.491.681	542.719	--

Potencial técnico

Para o cálculo do potencial técnico, foi considerada a eficiência do processo de conversão em energia, bem como o ciclo de corte e o incremento médio anual dos gêneros. O potencial técnico pode ser visto na Tabela 37.

Tabela 37 - Potencial energético técnico de florestas plantadas no estado de Minas Gerais - 2012

Gênero	Área plantada em 2012 (ha)	Potencial Energético (GWh/ano)	Potencial Energético (GWh/ ha/ano)
Pinus	52.710	93	0,0176
Eucalipto	1.438.971	3.682,35	0,0179
Total	1.491.681	3.775,35	--

Oportunidades relacionadas à recuperação de pastagens degradadas

Um esforço interessante é calcular o potencial técnico associado a pastagens degradadas. Considerando que 90% do território de Minas Gerais seja área rural, e que desses, 65% (Albernaz e Lima, 2006) sejam áreas de pastagem, sendo 60% de pastagens com algum grau



de degradação, poderíamos pensar no potencial de geração de energia a partir de 205.869,2 km² (ou 20.586.920 hectares), caso essas áreas fossem convertidas em florestas de eucalipto (Tabela 38). Levando-se em conta o ciclo de corte do eucalipto e a eficiência das turbinas, seria possível gerar **52.682,8 GWh/ano**.

Tabela 38 - Potencial energético técnico caso as pastagens com algum grau de degradação fossem plantadas com eucalipto com fins energéticos

Gênero	Área de pastagem com algum grau de degradação (ha)	Potencial Energético (GWh/ano)	Potencial Energético (GWh/ha/ano)
Eucalipto	20.586.920	52.682,8	0,0179

Potencial econômico

Carvão Mineral x Carvão Vegetal

Comparando-se os custos médios de uma unidade que produz o carvão vegetal a partir de florestas plantadas e uma unidade que produz o ferro-gusa em coqueria própria, os custos de produção do ferro-gusa a carvão vegetal seriam 46,5% mais caros do que os de gusa a carvão mineral (JUNIOR, 2011, citado por Mota, 2013). Enquanto o custo do carvão mineral seria responsável por 41,5% do custo da produção do gusa, o do carvão vegetal representaria cerca de 52% da produção do ferro-gusa. Em relação à produção do aço, o carvão mineral representa 29,1% e o vegetal 40,1% dos custos totais (JUNIOR, 2011, citado por Mota, 2013).

Mais informações referentes à competição carvão mineral x carvão vegetal serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Projeções

Considerando a projeção da área total ocupada por florestas plantadas, tanto de eucalipto quanto de pinus, em Minas Gerais, no ano de 2020, apresentada pelas Diretrizes para Estruturação de uma Política Nacional de Florestas Plantadas (2011) de **3.007.000 hectares**, teríamos disponível um potencial econômico de **7.695 GWh/ano**, conforme pode ser observado na Tabela 39. Cabe ressaltar que o cálculo foi feito com base nos parâmetros do gênero eucalipto.

Tabela 39 - Projeção do potencial energético de florestas plantadas no estado de Minas Gerais em 2020

Área plantada em 2020 (ha)	Produção em 2020	Rendimento médio em 2020	Potencial de energia
	m ³	m ³ /ha	MWh/ano
3.007.000	15.636.398,96	36.4*	7.695

*Considerando o rendimento médio calculado para o ano de 2012.

**Considerando a massa específica da lenha comercial igual a 0,390 t/m³, conforme MAPA (2013).



Cabe ressaltar que essa projeção de área de floresta plantada foi feita a partir de análises que consideraram: a evolução histórica dos plantios e desenvolvimentos em P&D&I nos últimos anos; (ii) projetos de expansão florestal; (iii) necessidades de áreas plantadas para suprir o aumento da demanda interna e externa dos derivados de madeira; (iv) perspectivas regionais e outros.

Outra fração energética potencialmente aproveitável está contida nos gases emitidos no processo de carbonização da madeira. Os gases gerados são compostos basicamente por dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio em proporção típica, conforme apresentado na Tabela 40. Entre esses, o monóxido de carbono, o metano e o hidrogênio são gases combustíveis.

Tabela 40 - Composição típica dos gases do processo de carbonização (Fonte : Engebio)

Gases	% em Volume		
Dióxido de Carbono (CO ₂)	12.4	a	13.2
Monóxido de Carbono (CO)	17.3	a	19.4
Metano (CH ₄)	1.5	a	2.5
Nitrogênio (N ₂)	42.5	a	47.3
Oxigênio (O ₂)	1.4	a	1.6
Hidrogênio (H ₂)	13.4	a	17.9

Considerando que cerca de 25% da massa seca da madeira submetida ao processo de carbonização é convertida em gases, cuja massa específica pode ser assumida igual a 1,6 kg/Nm³ para temperaturas de processo na faixa de 500°C, o PCI dos gases da carbonização da madeira pode variar de 4,16 a 5,27 MJ/Nm³, conforme o percentual dos gases constituintes, sendo classificado como um gás de baixo poder calorífico. Dessa forma, estima-se que a carbonização de uma tonelada de madeira gere, teoricamente, 156 Nm³ de gases que podem ser aproveitados com fins energéticos, conforme Tabela 41.

Tabela 41 - Estimativa do potencial energético dos gases de carbonização (Fonte: Engebio 2013)

Categorias	Equivalente em madeira convertido à carvão		Geração de gases na carbonização	Potencial energético teórico
	m ³	t*	Nm ³ /ano	MWh/ano
Produção 2012	33.686.861	13.137.875,8	2.049.508.623	2.368.321

* Considerando a massa específica da lenha comercial igual a 0,390 t/m³, conforme MAPA (2013).



Há ainda a potencialidade de aproveitamento energético dos rejeitos finos da siderurgia e dos gases liberados em alto-forno. Estimando o equivalente de madeira convertido em carvão baseado nos dados do IBGE (2012), o potencial energético em 2020 pode alcançar 3.483,59 GWh/ano, o que representa um aumento de 47,5% em relação a 2012. Os dados são apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 - Projeção do potencial energético dos gases de carbonização em 2020 (Engebio 2013)

Categorias	Equivalente em madeira convertido à carvão		Geração de gases na carbonização	Potencial energético
	m ³	t*	Nm ³ /ano	MWh/ano
Produção 2020	49.550.495	19.324.693,1	3.014.652.115,8	3.483.598,3

* Considerando a massa específica da lenha comercial igual a 0,390 t/m³, conforme MAPA (2013).

Adicionalmente, o Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF/MG) elaborou em 2007, o Plano Estadual de Fomento Florestal. Entre 2007/08 e 2010/11, 63.580 hectares foram recuperados no estado com o programa e muitos são os ganhos relacionados, inclusive o financeiro. Isso significa que a alternativa de pequenos e médios produtores rurais em investir no negócio florestal é aparentemente lucrativo. Como exemplo, vê-se que a produção de carvão vegetal pode apresentar uma taxa interna de retorno de investimento de 8% ao ano e a produção de madeira 7% ao ano²⁶. Se considerarmos a estimativa de corte de 87 mil hectares de florestas por ano no estado e o plantio de 50 mil hectares podemos perceber que o setor ainda tem grande potencial econômico para desenvolvimento.

Mais informações referentes ao potencial econômico para a geração de energia a partir da utilização de lenha e carvão em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Os cálculos referentes a esse capítulo encontram-se em anexo.

Barreiras e restrições

Abaixo são relacionadas algumas barreiras e restrições ao desenvolvimento dessa fonte de energia:

- Competição por outros usos da lenha, tais como celulose, painéis e outros;
- Longo prazo dos projetos florestais;
- Distância entre centros produtores de lenha e plantas industriais;

²⁶ Dados do Plano Estadual de Fomento Florestal do Instituto Estadual de Florestas, 2012



- Baixa eficiência do processo de conversão da matéria-prima para energia.

Mais informações referentes às barreiras e restrições serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Cavaco de madeira

Contexto

O cavaco de madeira é composto por lascas cisalhadas obtidas a partir de toras de madeira de pinus ou eucalipto, que na sua maioria, destina-se à produção de energia em fornos e caldeiras, apresentando boas características energéticas²⁷.

É comum encontrar três tipos diferentes de cavacos de madeira²⁸:

- Cavacos de resíduos de floresta, como ramos, copas de árvores ou árvores inteiras com valor comercial reduzido. Contém uma porcentagem de umidade na ordem dos 50%, o seu tamanho varia desde partículas de pó até cavaco e contém casca e folhas. É um combustível adequado para as caldeiras que se encontram nas grandes centrais de produção de calor ou de produção de energia elétrica.
- Estilhas ou cavacos produzidos nas serrarias, com uma porcentagem de umidade da ordem dos 40-50%, que é usada, por exemplo, na indústria de pasta e papel ou no fabrico de aglomerados e outros painéis. Esta estilha tem melhores propriedades de combustão, mas é ainda muito úmida para as caldeiras pequenas, a não ser que seja seca antes de destrozada.
- Cavacos provenientes de cortes de árvores, sem ramos e folhas, deixados secar por aproximadamente 4-6 meses antes do seu destroçamento ou picagem. Este cavaco contém cerca de 30% de umidade e deve ser uniforme em qualidade e tamanho. Este combustível é adequado para as caldeiras instaladas em edifícios residenciais ou de serviços. Neste caso, os pedaços de madeira de maior dimensão podem causar problemas operacionais, devendo ser removidos durante a produção.

Algumas empresas no país já atuam nesse ramo, no entanto, há ainda necessidade de avaliação do potencial a ser explorado. No 2º Leilão de Energia Nova, ocorrido em 29/06/2006, para início de suprimento em 2009, uma empresa do estado de Santa Catarina que oferecia energia a partir da utilização de cavaco negociou 4 MWh a R\$ 133,92/MWh.

²⁷ Cavaco Brasil (<http://www.cavacosbrasil.com.br/biomassa.php>)

²⁸ Cavaco. Melanie Grunkraut, Coopermiti.



Em 2010, no Leilão N° 02/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica, dois projetos no estado do Pará e um projeto no estado de Roraima que ofereciam energia a partir da utilização de cavaco e resíduos de madeira venceram. Os dois projetos do Pará ofereceram respectivamente 15.648.024 KWh a R\$149,00/MWh e 600.147.744 KWh a R\$148,50/MWh. Já o projeto de Roraima ofereceu 458.048.448 KWh a R\$149,00/MWh.

Já o Leilão N° 03/2011 – ANEEL, Energia de Reserva, realizado em 18/08/2011, teve como objetivo contratar energia elétrica de reserva de empreendimentos de geração que tivessem como fontes biomassa ou eólica, para início de suprimento de energia elétrica em 01/07/2014. A empresa vencedora que oferecia energia a partir de cavaco de madeira negociou 2.629.800 MWh a R\$101,99/MWh (preço competitivo com outras fontes de referência).

Inventário de instalações com aproveitamento energético de cavaco de madeira

Não foi possível fazer um levantamento mais detalhado do número de usinas que já utilizam o cavaco como fonte de energia. Esse item deverá ser discutido e complementado nas oficinas territoriais com os atores envolvidos no processo.

Potencial de geração de energia

Potencial teórico

Considerando a conversão da área total ocupada por florestas plantadas em Minas Gerais, no ano de 2012, em cavaco e considerando as devidas proporções entre a área de pinus e eucalipto (Tabela 43), teríamos o potencial total de 369.730,16 GWh, o que representa 0,25 GWh/ ha de eucalipto e 0,16 GWh/ ha de pinus.

Tabela 43 - Potencial energético teórico de cavaco no estado de Minas Gerais - 2012

Gênero	Área plantada em 2012 (ha)	Potencial Energético (GWh)	Potencial Energético (GWh/ ha)
Pinus	52.710	8.449,8	0,16
Eucalipto	1.438.971	361.280,36	0,25
Total	1.491.681	369.730,16	---

Potencial técnico

O potencial técnico foi calculado levando-se em consideração o ciclo de corte do pinus e eucalipto, além da eficiência do processo de conversão da matéria-prima em energia. Assim,



teríamos o potencial técnico total de **2.607,95 GWh/ano** (Tabela 44), o que representa 0,0017 GWh/ha/ano de eucalipto e 0,00056 GWh/ha/ano de pinus.

Mais informações referentes ao potencial técnico para a geração de energia a partir da utilização de cavaco de eucalipto em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Tabela 44 - Potencial energético técnico de cavaco no estado de Minas Gerais - 2012

Gênero	Área plantada em 2012 (ha)	Potencial Energético (GWh/ano)	Potencial energético considerada a eficiência do processo (GWh/ano)	Potencial Energético (GWh/ ha/ano)
Pinus	52.710	84,5	29,5	0,00056
Eucalipto	1.438.971	7.367	2.578,45	0,0017
Total	1.491.681	7.451,5	2.607,95	---

Potencial econômico

Se considerarmos a conversão de toda a área ocupada por floresta plantada, em 2020, conforme previsão do PNFP, em cavaco de madeira, a energia elétrica que poderia ser gerada é da ordem de 5.388,25 GWh/ano, o que significa 0,00179 GWh/ha/ano (Tabela 45). Tendo em vista a tendência de diminuição da área plantada de pinus em todo o país, consideramos os dados de densidade, IMA e ciclo de corte somente do eucalipto. Também foi levada em consideração a eficiência do processo de conversão da matéria-prima em energia. A metodologia adotada pode ser conferida no memorial de cálculo.

Tabela 45 - Potencial energético econômico de cavaco no estado de Minas Gerais - 2012

Gênero	Área plantada em 2020 (ha)	Potencial Energético (GWh/ano)	Potencial Energético (GWh/ ha/ano)
Pinus e eucalipto	3.007.000	5.388,25	0,00179

Mais informações referentes ao potencial econômico para a geração de energia a partir da utilização de cavaco de eucalipto em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Barreiras e restrições

Abaixo são relacionadas algumas barreiras e restrições ao desenvolvimento dessa fonte de energia:



- É necessário melhorar a eficiência da conversão de madeira em energia ;
- São necessárias mais pesquisas na área ;
- Nem toda a matéria orgânica deve ser retirada do solo, com o objetivo de garantir a ciclagem de nutrientes.

Mais informações referentes às barreiras e restrições para a geração de energia a partir da utilização de cavaco de eucalipto em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Biodiesel

Contexto

O biodiesel é um biocombustível produzido a partir de óleos vegetais ou de gordura animal. Dezenas de espécies vegetais encontradas no Brasil podem ser utilizadas na sua produção: soja, palma, girassol, ricina, amêndoa, etc. Para ser compatível com os motores a diesel, o óleo vegetal sofre um processo químico, realizado em usinas de transformação autorizadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Também é possível misturar diversas matérias-primas. Por exemplo, a ricina (proteína presente nas sementes da mamona) é frequentemente misturada com outros óleos, pois ela traz para o biodiesel propriedades que melhoram o produto final.

O biodiesel substitui totalmente ou parcialmente o óleo diesel (fóssil) em motores automotivos e geradores. Pode ser usado puro (B100) ou misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura de 5% de biodiesel ao diesel de petróleo, por exemplo, é chamada de B5.

A demanda de biodiesel compulsória no país é bastante inferior à capacidade nominal autorizada pela ANP. A produção anual tende a acompanhar a demanda, mas a capacidade instalada deverá atender o aumento da mesma nos próximos anos. A Figura 22 demonstra a relação da produção, demanda e capacidade.

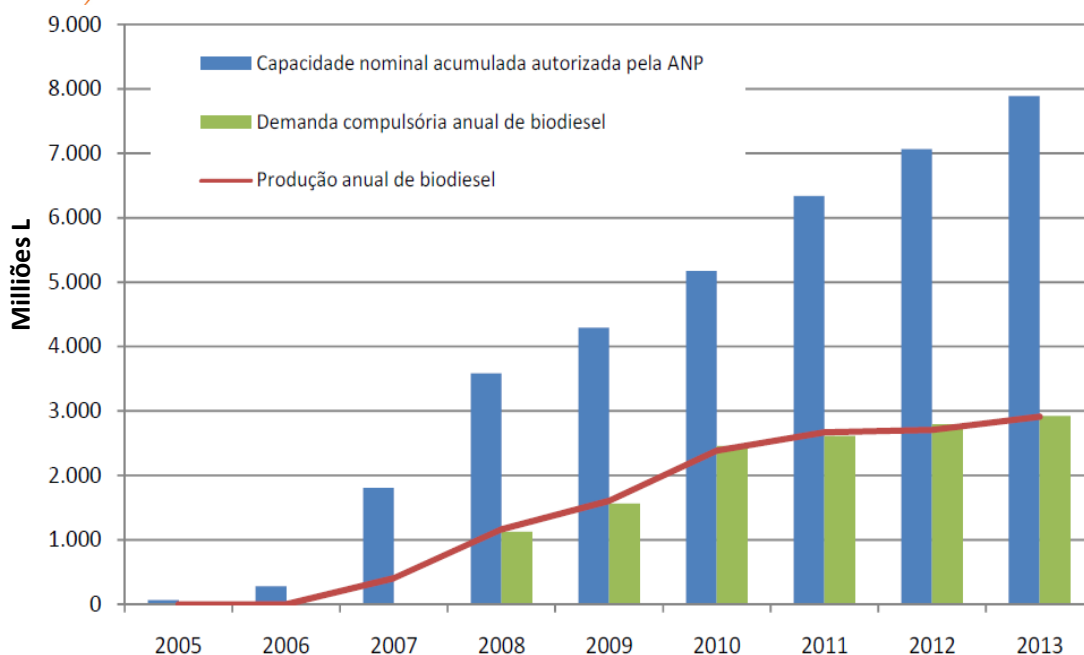


Figura 22 - Evolução Anual da produção, demanda e capacidade nominal do biodiesel no país (ANP)

O consumo de biodiesel no Brasil pode ser dividido em três grandes setores: os transportes, representando quase 75%; a agricultura, com quase 16%; e o setor industrial, que utiliza 5% de biodiesel para gerar eletricidade. Desde o lançamento do Plano Nacional de Uso e Produção de Biocombustíveis (PNPB), o diesel comprado nos postos de combustíveis contém uma porcentagem de biocombustível (Tabela 46), que aumenta com o passar dos anos.

Tabela 46 - Porcentagem de biodiesel no diesel no Brasil (Fonte: segundo a ANP, 2013)

Jul. 2008	Jul. 2009	Jan.2010	2014	2016	2020
2 %	3%	5 %	7 %	16 %	20 %

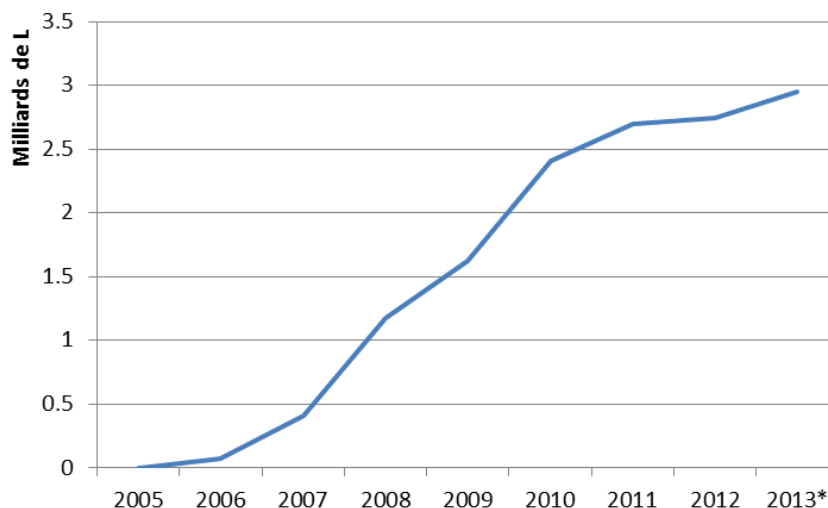
A passagem da taxa de 5 a 7% exige um aumento da produção de biodiesel em 40%. A evolução da produção de biodiesel pode ser visto na Figura 23. O setor produtivo trabalha atualmente em 50% da capacidade.²⁹ Os produtores também defendem um aumento rápido da taxa em função do preço nominal do biodiesel ser inferior ao diesel vendido pelos distribuidores atualmente. A Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais observa

²⁹ Declaração de Erasmo Battistella, presidente da Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil (Aprobio).
Fonte: Sociedade Rural Brasileira srb.org.br



uma convergência dos preços do diesel e biodiesel, favorecida por taxas de câmbio desfavoráveis aos produtos estrangeiros.

Figura 23 - Evolução da produção brasileira de biodiesel (Fonte: segundo a ANP, 2013)



No Brasil, a soja corresponde a 75% da matéria-prima utilizada para produzir biodiesel. As diferentes matérias primas contidas no biodiesel podem ser vistas na Figura 24. Com relação à soja, a área plantada em Minas Gerais representava cerca de 1 milhão de hectares em 2011 (para diferentes fins) (Figura 25).

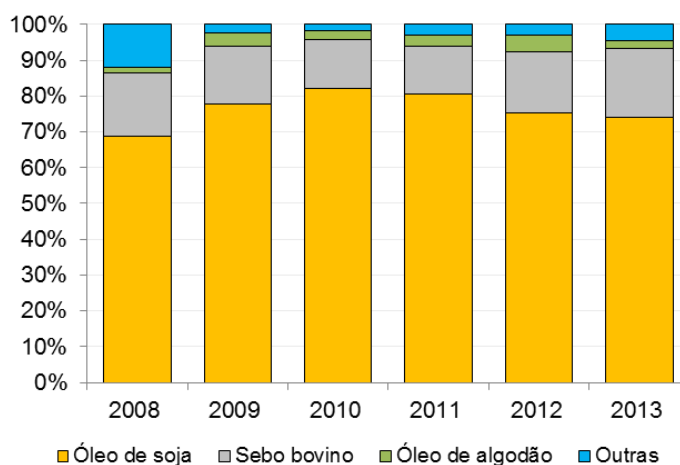


Figura 24 - Distribuição do biodiesel brasileiro, por matéria-prima (Fonte: ANP/Abiove, 2013)

Já o cultivo da macaúba, apesar de não ter atualmente grande participação, apresenta potencial considerável teoricamente pois pode produzir de quatro a cinco toneladas de óleo por hectare plantado, enquanto a soja gera somente 0,5 tonelada. O potencial da macaúba



pode ser ampliado na produção de biodiesel em função da criação de uma lei que dá incentivos aos pequenos produtores³⁰.

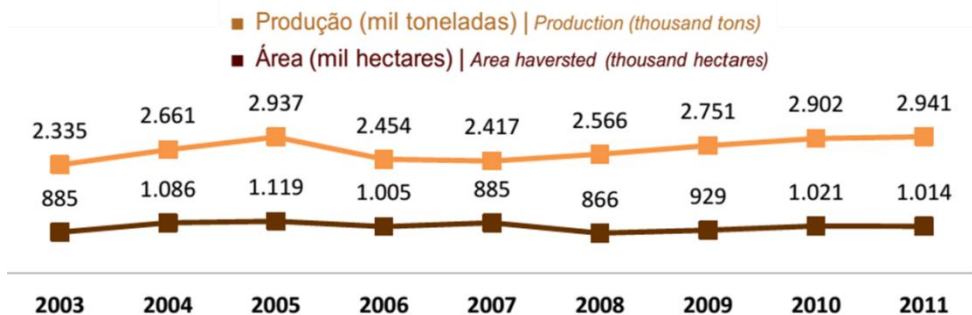


Figura 25 - Evolução da produção e da área colhida em Minas Gerais (Fonte: Perfil agronegócio MG, 2012)

Em 2009, segundo a Conab (Companhia Nacional de Abastecimento), foram produzidas cerca de 9 mil toneladas de mamona em Minas Gerais. Não foram encontrados dados atuais sobre as culturas mais recentes, para os quais é provável que o girassol tem ganhado importância.

Segundo a ANP, o último leilão distribuiu 485,6 milhões de litros de biodiesel, o que permitiria responder à demanda dos meses de janeiro e fevereiro de 2014. Quase 50% desse volume será produzido por produtores da região Centro-Oeste, enquanto ao Sudeste é atribuído 22% do mercado (região Sul 34%, Nordeste 6%).

Minas Gerais consumiu o equivalente a 343 mil m³ de biodiesel em 2011, principalmente no setor de transportes (Figura 26). A produção nesse mesmo ano foi de 77 mil m³, o que faz do estado um importador do combustível (importou 572 mil m³). O consumo total foi de 343 mil m³, desse total 297 mil m² foram destinados ao setor de transporte. Esse valor equivale a cerca de 0,03% dos combustíveis usados no setor.

³⁰ <http://ftp.defatoonline.com.br/noticias/ultimas/29-03-2011/usina-de-biodiesel-abre-1-700-vagas-em-lima-duarte-mg>

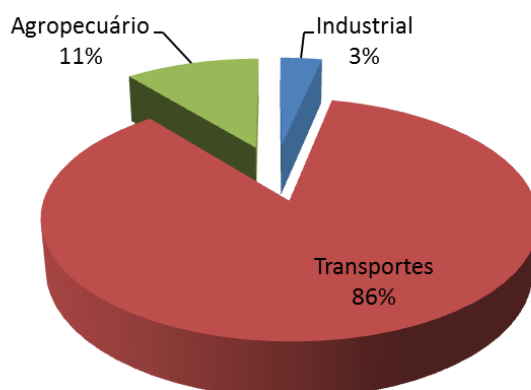


Figura 26 - Distribuição do consumo de biodiesel em Minas Gerais (Fonte: segundo BEEMG 2011, op.cit.)

Inventário de empreendimentos produtores de biodiesel

Em 2011, somente 26% do biodiesel consumido em Minas Gerais foi produzido no próprio território. Até fevereiro de 2014, segundo o Boletim Mensal do Biodiesel produzido pela ANP, existiam 63 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, correspondendo a uma capacidade total autorizada de 21.857,79 m³/dia. Dessas, três (3) localizam-se no estado de Minas Gerais. Uma delas se encontra na cidade de Varginha com capacidade de 2,3 m³/dia. A segunda se encontra em Araguari com capacidade de processo de 6 m³/dia. A última e maior, controlada pela Petrobrás tem sede em Montes Claros e chega a produzir 422,73 m³/dia. A Figura 27 mostra a evolução da produção.

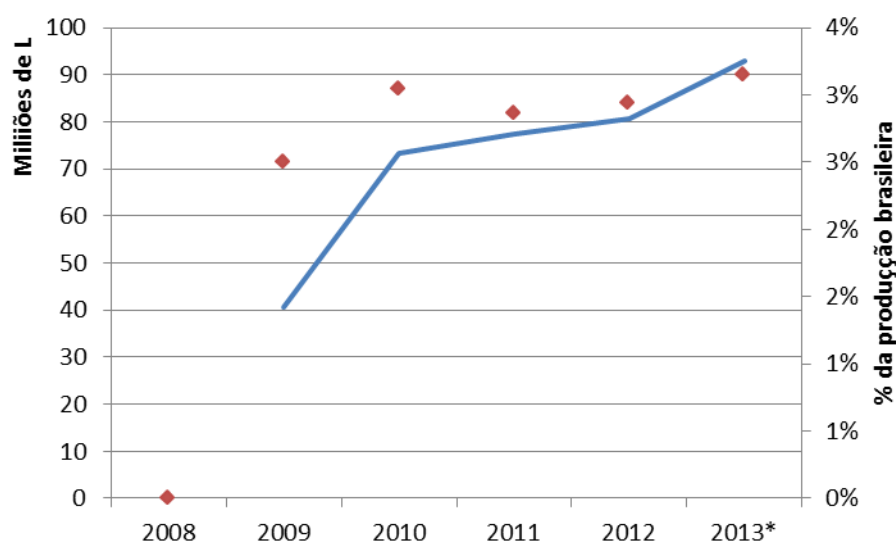


Figura 27 - Evolução da produção de biodiesel em Minas Gerais e o que representa a nível nacional (Fonte: Enviroconsult segundo dados da ANP dezembro 2013)



Potencial de geração de energia

Potencial teórico

Para fins desta avaliação, o potencial teórico da produção de biodiesel em Minas Gerais leva em conta as áreas plantadas das culturas mais relevantes para a produção de biodiesel e cuja produção foi identificada no estado. A produção teórica das áreas é então convertida em energia fisicamente disponível na biomassa. A área plantada de cada cultura no ano de 2012 e o potencial teórico de energia disponível estão apresentados na Tabela 47.

Tabela 47 - Área plantada e potencial teórico no ano de 2012 (IBGE, adaptado)

CULTURA	Área plantada (hectare)	Energia disponível (GWh)
Mamona	3.507	40,8
Soja	1.028.421	3.887
Girassol	4.174	32,6
Total	1.036.102	3.960,4

Potencial técnico

A discussão do potencial técnico deverá ser realizada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

Uma abordagem interessante a ser desenvolvida futuramente é a utilização de mapas de áreas aptas e não aptas para o cultivo das espécies utilizadas para biodiesel em Minas Gerais (tais como os apresentados na Figura 28) elaborados no âmbito do Projeto SimMinas. Com os dados desagregados das áreas aptas, pode-se calcular o potencial de geração de energia com base em aspectos técnicos relacionados a fatores edafoclimáticos e diferentes práticas agrícolas.

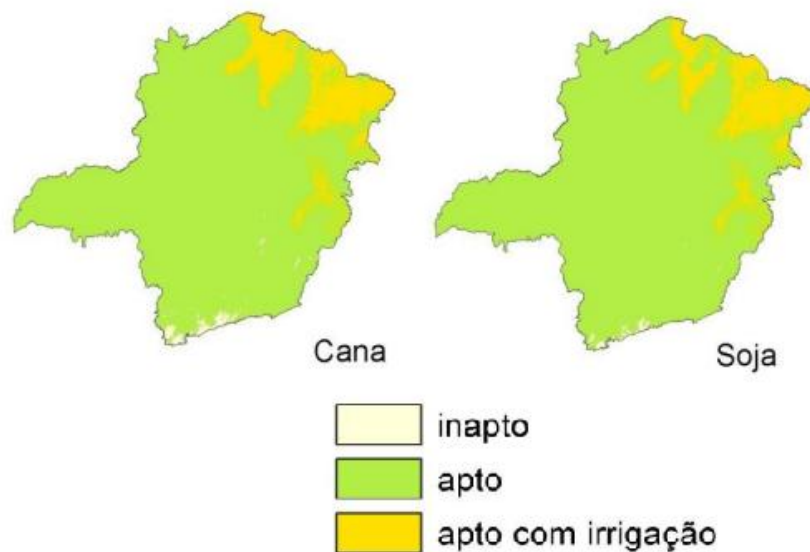


Figura 28 - Mapa com áreas aptas e inaptas para o cultivo de cana e soja. (Fonte: Adaptado de SIMMINAS, 2013)

Potencial econômico

Em um estudo baseado na simulação da oferta e demanda, a FEAM projeta uma significativa evolução do consumo de diesel para atender a demanda e a legislação, o que indica, a princípio, um relevante potencial técnico ainda a ser explorado (Figura 29). Para isso são necessários fortes incentivos para a produção e utilização de biodiesel no setor de transportes.

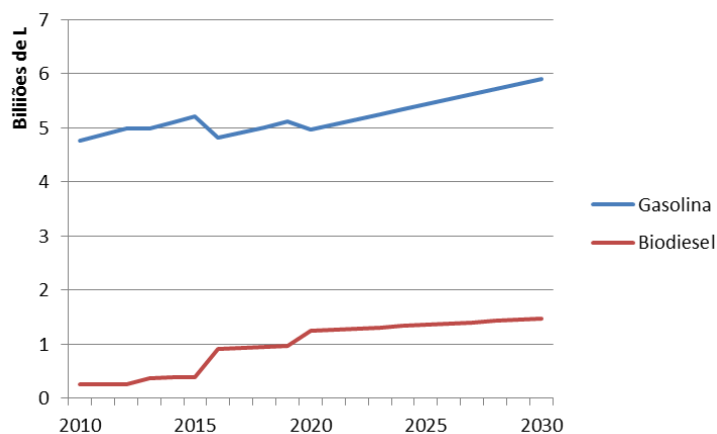


Figura 29 - Projeção da demanda de diesel e biodiesel em Minas Gerais (Fonte: segundo FEAM (op.cit.))

Para atingir este cenário, seria necessário a produção de quase **1,5 bilhões de litros por ano** de biodiesel, a partir de 2025, para atender à demanda. Considerando que as usinas em Minas Gerais produzem 77 mil m³ (77 milhões de litros) por ano de biodiesel, mas tem



capacidade de produzir cerca de 157 mil m³ (157 milhões de litros), verifica-se ser necessário **aumentar em quase 10 vezes** a capacidade nominal do estado.

Em abril 2013, foi firmado um protocolo de intenções para a **instalação de uma nova usina de biodiesel no estado**. O contrato foi assinado entre a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede) e a empresa El Shadday Brasil Biodiesel que pretende investir R\$ 56,13 milhões no projeto. A fábrica deverá ser implantada no município de Pompéu – a 170 km da capital, Belo Horizonte. A previsão é de que a produção inicial seja 33 milhões de litros por ano com a geração de 170 empregos. A matéria-prima deverá ser adquirida na própria região – num raio de até 150 km da planta – a partir de parceiros da agricultura familiar cadastrados, a empresa pretende trabalhar com soja e, também, fomentar o plantio de girassol, mamona e do crambe³¹.

Em 2012, a Petrobras Biocombustível assinou protocolo de intenções para investimentos de R\$ 28 milhões na **ampliação de 40% na capacidade de produção da usina de biodiesel de Montes Claros**. O projeto é que essa unidade, atualmente com capacidade para fabricar 108,6 milhões de litros por ano seja ampliada para produzir 152 milhões de litros anuais.

A usina Montes Claros faz parte do parque produtor de biodiesel da PBio que opera três unidades próprias nos municípios de Candeias (BA), Quixadá (CE) e Montes Claros (Minas Gerais) e duas em parceria, em Marialva (PR) e Passo Fundo (RS). Com as cinco unidades, a Petrobras Biocombustível conta com capacidade total instalada de produção de 721,4 milhões de litros de biodiesel/ano.

O acordo anunciado também contempla o aumento da participação da agricultura familiar na cadeia do biodiesel. Atualmente são 3,2 mil pequenos produtores e o projeto pode aumentar esse número para 4,5 mil.

A discussão do potencial econômico deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

Biodiesel x Diesel

Segundo Ming (2012)³², quando lançado na segunda metade da década passada, o Programa do Biodiesel pretendia aproveitar farta diversidade de matérias-primas: mamona, pinhão-manso, gordura animal, sementes de girassol e palma (dendê). Mas esses produtos não conseguiram montar uma rede de produção e distribuição tão abrangente e bem articulada quanto à da soja. Até 2012, 79,5% do biodiesel no Brasil era composto por óleo de soja.

³¹ biodieselbr.com

³² Ming, 2012. Novos custos do biodiesel, Celso Ming. Disponível em : <http://blogs.estadao.com.br/celso-ming/2012/09/08/novos-custos-do-biodiesel/>



Ainda segundo Ming, em condições normais, o custo de produção do biodiesel é 60% mais alto do que o do diesel de petróleo, sendo o poder energético do biodiesel correspondente a aproximadamente 90% do poder energético do diesel de petróleo.

Barreiras e restrições

Abaixo são relacionadas algumas barreiras e restrições ao desenvolvimento dessa fonte de energia:

- Dependência de situações climáticas específicas para produção de algumas das matérias-primas ;
- Aquecimento do mercado alimentício diminui a atratividade do mercado de biodiesel;
- Problemas de logística de transporte do combustível à usina.

Mais informações referentes às barreiras e restrições para a produção e consumo do biodiesel em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Etanol

O etanol brasileiro é produzido principalmente a partir da **cana-de-açúcar**. Os produtores de etanol também são produtores de açúcar. Utiliza-se exclusivamente o termo destilaria a partir de agora para falar de usinas que produzem etanol.

Contexto

O etanol pode ser produzido a partir de várias matérias-primas, como milho, mandioca, cevada, aveia, sorgo, arroz, trigo, beterraba e cana-de-açúcar. Trata-se de uma fonte de energia natural, limpa e renovável. No Brasil existe o etanol hidratado, com 5% de álcool, que abastece os automóveis flex, e o etanol anidro, com 0,5% de água, misturado na gasolina numa proporção de 20 a 25%. A Figura 30 mostra a redução média de gases de efeito estufa em relação à gasolina.

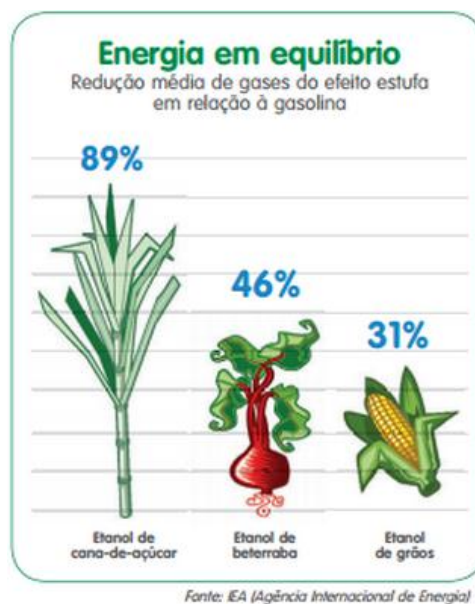


Figura 30 – Redução média de gases do efeito estufa em relação à gasolina (Fonte: Cartilha “Etanol, uma atitude inteligente”)

Desde o fim dos anos 70 e o programa de incentivo aos combustíveis a base de álcool (PROALCOOL), o setor sucroalcooleiro teve fases de reestruturação e crescimento, enquanto a demanda interna e externa no Brasil aumentava. Internamente, essa demanda é sustentada em parte pela obrigação, desde 1976, de introduzir etanol na gasolina. Diversas misturas, determinadas pela ANP, estão disponíveis. A taxa atual se situa entre 20 e 25%.

Os primeiros carros *flexfuel* (veículo de combustível duplo) chegaram ao mercado nacional em março de 2003, e desde 2006, dominam as vendas de veículos novos no Brasil. O advento dos carros *flex* provocou uma mudança no perfil do consumo de combustíveis automotivos no Brasil. A introdução destes veículos permitiu que o consumidor pudesse escolher qual mistura de álcool hidratado/gasolina é mais vantajosa. Esse fator aumentou a atratividade do setor para a produção de álcool e gerou uma redução pelos consumidores brasileiros de 177.238.070 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) de 2003 a 2012, conforme dados do setor³³. De acordo com os resultados obtidos pelo estudo da Fundação Getúlio Vargas (FGV), atualmente, um aumento de 1% no preço da gasolina é refletido em um aumento de aproximadamente 1,87% na quantidade vendida de álcool hidratado.

³³ União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), 2013

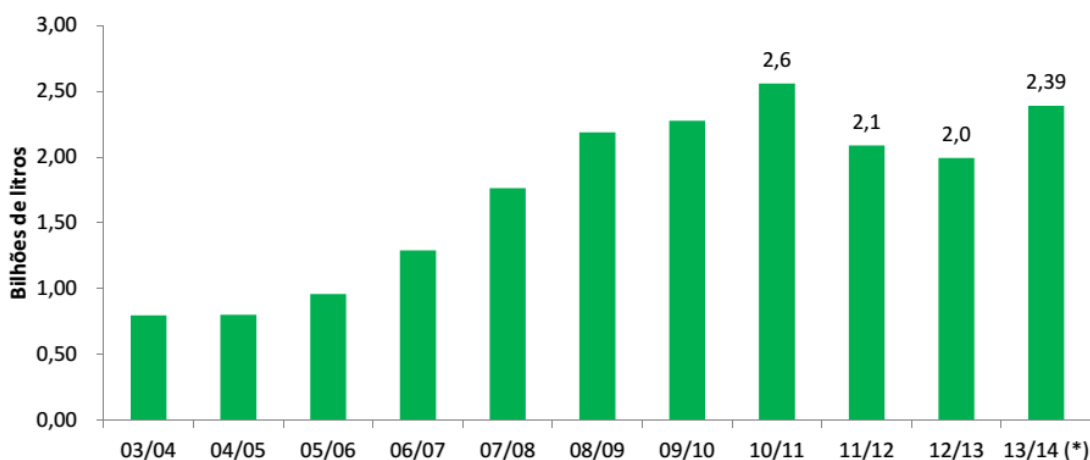


Figura 32 - Produção total de etanol em Minas Gerais em bilhões de litros desde 2005 – previsão para a safra 2013-2014 (Fonte: relatório SIAMIG 2013)

Entretanto, nos últimos anos houve uma descontinuidade do padrão de crescimento. As condições climáticas dos três (3) últimos anos (chuvas fortes, seguidas por 2 anos de seca) são apontadas como responsáveis pela queda de rendimento nas plantações (de 80 t/ha para 60 t/ha), como mostra a queda de produção de cana-de-açúcar em relação à área de safra mobilizada, que aumenta. A Figura 33 mostra a variação da produção de cana-de-açúcar e área de safra em Minas Gerais.

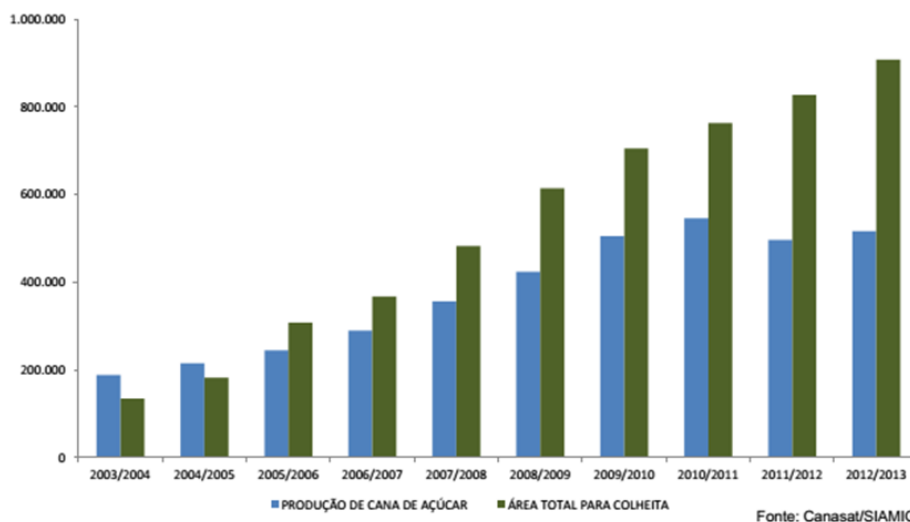


Figura 33 - Variação da produção de cana-de-açúcar e área de safra, em hectares, em Minas Gerais (Fonte: SIAMIG, 2013)

Deve ser destacado também que a produção desse biocombustível é afetada também pela escolha econômica feita pelos produtores de açúcar entre a produção de açúcar e de etanol. Conhecendo-se as toneladas de cana-de-açúcar colhidas e a produção de etanol, calcula-se



uma produção anual de **43,3 litros de etanol** por tonelada de cana-de-açúcar nas últimas 11 safras, conforme visto na Figura 34.

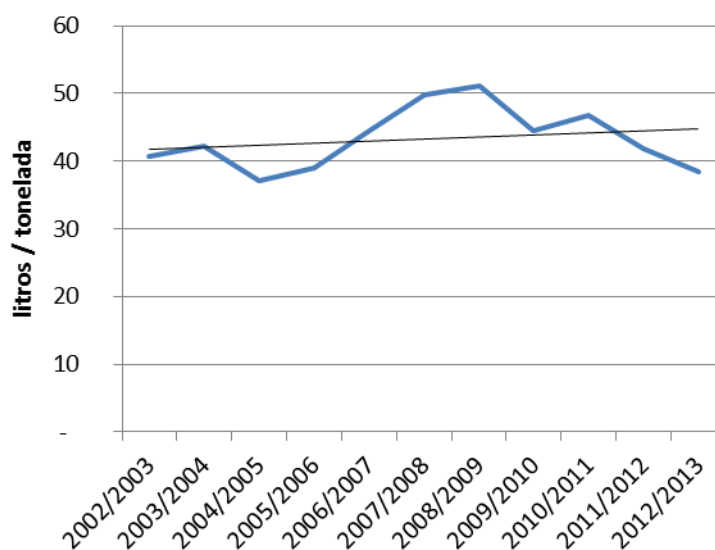


Figura 34 - Média por safra de litros de etanol produzidos por tonelada de cana-de-açúcar (Fonte: EnvirOconsult a partir de dados SIAMIG 2013)

Potencial de geração de energia

Potencial teórico

A área cultivada com cana-de-açúcar em Minas Gerais, em 2013, foi de cerca de 781.920 hectares (representando um aumento de 8,32% em relação ao ano anterior) e deve crescer em 2014 mais 60,1 mil hectares³⁴. O comportamento da expansão da área de cana-de-açúcar tem suas particularidades em cada região do país, mas Minas Gerais está entre os estados que devem ter maiores áreas de expansão.

Para fins desta estimativa, considera-se o potencial teórico como a energia total fisicamente disponível em forma de etanol para as áreas de plantio. Neste caso, assumindo que toda a área plantada e a produção de 70.473.998 toneladas no estado irão servir para a produção de etanol, tem-se uma quantidade total que pode ser produzida de etanol no valor de 5,6 bilhões de litros e 5,8 bilhões de litros, considerando fator de conversão de 12,5 kg/litro para álcool anidro e 12,0 kg/litro para álcool hidratado³⁵ respectivamente. Lembrando-se que, no estado, ainda existem muitas áreas próprias ao cultivo da cana-de-açúcar, estima-se que

³⁴ Dados da Companhia Nacional do Desenvolvimento, 2013

³⁵ Conversão usada no Perfil do Setor do Açúcar e do Álcool no Brasil. Conab, 2010



esse valor possa ser ainda muito superior quando considera-se o potencial teórico das áreas favoráveis para expansão do cultivo da cana.

Potencial técnico

Para o cálculo do potencial técnico, pretende-se utilizar o mapa de áreas aptas e não aptas para o cultivo de cana no estado de Minas (Projeto SIMINAS, 2013) e proceder a conversão em energia considerando as perdas, eficiência e demais restrições de natureza técnica e ambiental.

A discussão do potencial técnico deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

Potencial econômico

Existiu um forte ciclo de crescimento da produção de etanol na década passada. A aceleração dos investimentos em novas usinas, principalmente a partir de 2003, foi motivada pelo crescimento da demanda de açúcar no mercado internacional, especialmente após a reforma da política europeia para o produto, e pelo uso crescente do etanol, a partir do desenvolvimento dos veículos com motores *flexfuel* no País.

O conjunto dos dados apresentados nesse subcapítulo são provenientes dos estudos do Ministério da Agricultura ("*Projeções Agrícolas*", junho de 2013³⁶). Essas projeções são baseadas nos modelos econométricos que levam em consideração as tendências passadas e o potencial de crescimento de uma produção específica. Os resultados mais conservadores em relação às tendências foram selecionados e podem ser vistos na Tabela 54. O histórico e projeção da produção de cana-de-açúcar em Minas Gerais e Goiás pode ser visto na Figura 35.

Tabela 48 - Projeções da produção da cana-de-açúcar no horizonte de 2022/2023 (Fonte: Projeções do Ministério da Agricultura, junho de 2013)

ESTADO	2012/2013 (MILHARES DE TONELADAS)	2022/2023 (MILHARES DE TONELADAS)	VARIAÇÃO EM 10 ANOS	VARIAÇÃO MÉDIA POR ANO
Goiás	52.727,2	95.836	82%	6%
Minas Gerais	51.208	82.538	61%	5%

³⁶ http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf



São Paulo	330.694,9	466.920,8	41%	4%
-----------	-----------	-----------	-----	----

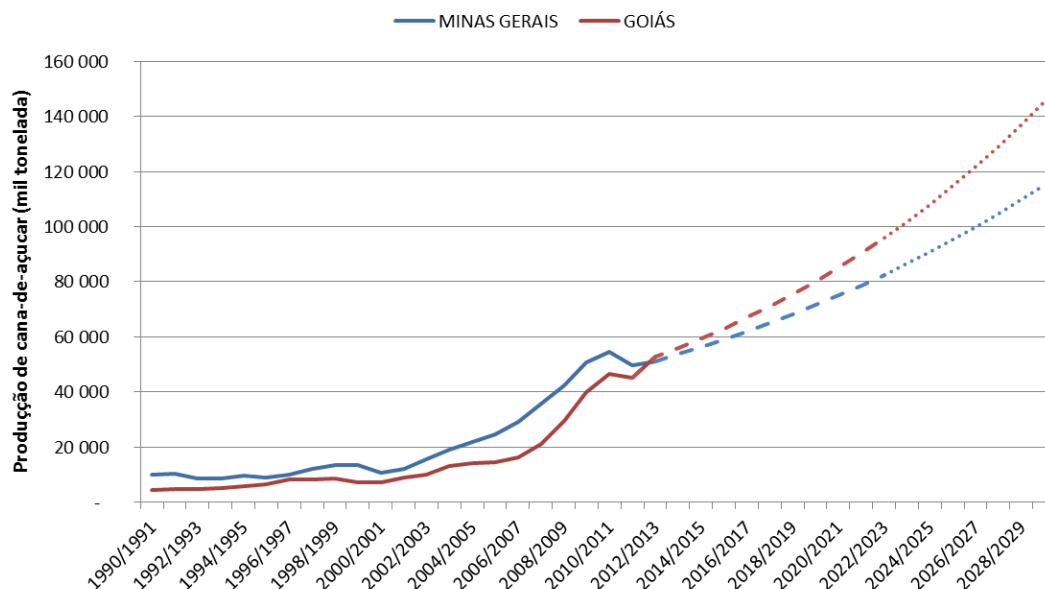


Figura 35 - Histórico e projeção da produção de cana-de-açúcar em Minas Gerais e Goiás. (Fonte: traço contínuo e pontilhado: Ministério do Meio Ambiente, junho de 2013; outros pontilhados: prolongamento da tendência)

Ao supor que os produtores de açúcar de Minas Gerais mantêm o mesmo equilíbrio entre açúcar e etanol nos últimos 11 anos (Tabela 49), avalia-se o seguinte potencial econômico:

Tabela 49 - Avaliação das toneladas equivalentes de petróleo produzido em Minas Gerais no horizonte de 2022/2023 (Fonte: EnvirOconsult)

	2022/2023	2029/2030
Cana-de-açúcar (milhares de toneladas)	82.538	115.286
Etanol (mil L)	3.573.070	4.990.715
Etanol (tep) ³⁷	1.842.665	2.573.758

O resultado anterior baseia-se em uma premissa onde todos os modos de transportes rodoviários usam etanol puro em vez de gasolina. De acordo com o BEEMG 2012, para o

³⁷ Fator de conversão utilizado: 0,515709 tep/m³, segundo BEEMG 2011 da CEMIG.



setor dos transportes, o consumo de gasolina era de 2127 ktep em 2010 e 1353 ktep de etanol, ou seja um consumo energético de mais de 3,5 milhões de tep.

Como estimado pelo Ministério da Agricultura, **o potencial em 2030 de Minas Gerais, portanto, deveria responder a 74% da demanda de 2010.**

Para atender 100% da demanda de energia em 2010, com uma produtividade variando entre 60 e 80 toneladas de cana-de-açúcar por hectare, **deve-se mobilizar entre 1,9 e 2,6 milhões de hectares.**

A discussão do potencial econômico deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

Barreiras e restrições

Os automóveis "*flex*", que podem utilizar combustíveis com qualquer tipo de concentração em etanol, apareceram efetivamente em 2003. O governo federal apoia a compra desses veículos, que representavam 88% dos veículos leves vendidos no país em 2009. Entretanto, a ausência crônica de competitividade do etanol em relação à gasolina faz com que esses veículos "*flex*" ainda utilizam muita gasolina. Além disso, é culturalmente estabelecido que é necessário um volume de etanol 30% superior ao de gasolina pura para que um carro percorra a mesma distância. O etanol precisa, então, ser 30% mais barato que a gasolina para ser competitivo. Observa-se que a CEMIG fala em 35%³⁸. A Figura 36 mostra o preço do etanol em relação à gasolina em postos de Belo Horizonte.

³⁸ Alternativas Energéticas – Uma visão CEMIG, CEMIG, 2012.

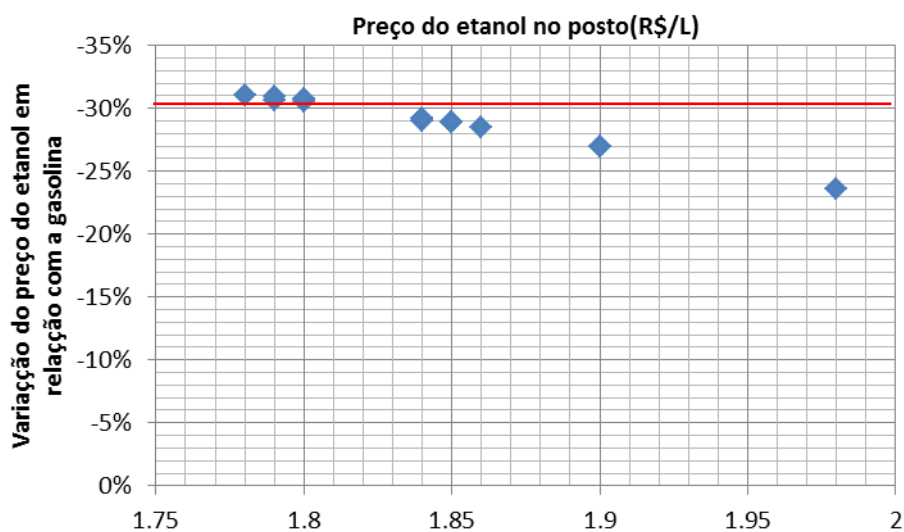


Figura 36 - Preço do etanol na bomba e diferença de preço em relação à gasolina, em diversos postos de Belo Horizonte em 27/11/13 (segundo precodoscombustiveis.com.br)

Como mostra a Figura 37, 46% da produção mineira de etanol de 2012 foi consumida no estado de São Paulo, onde o ICMS sobre o etanol é menor, o que o torna mais atrativo para os consumidores.

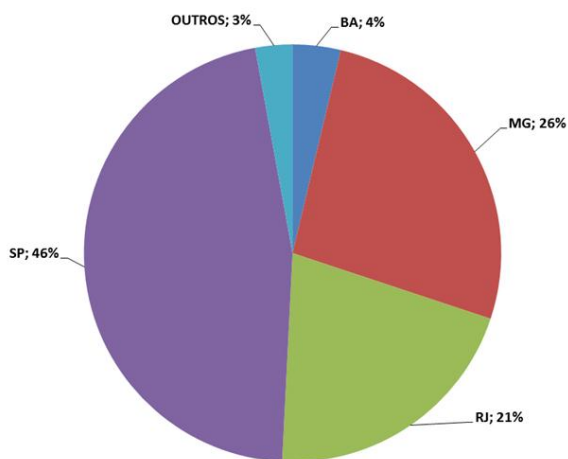
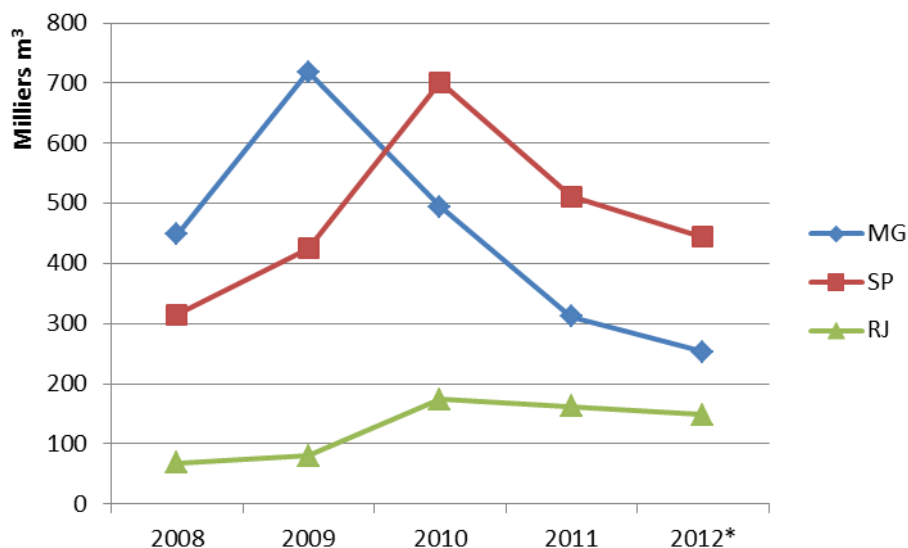


Figura 37 - Distribuição do consumo do etanol produzido em Minas Gerais em 2012 (Fonte: SIAMIG 2012)

Os 333 milhões de litros exportados para São Paulo, em 2012, representavam apenas, contudo, 7% do consumo do estado paulista. Em comparação, o montante representa quase metade da produção mineira, sendo que Minas Gerais têm a segunda maior frota veicular do Brasil (8,2 milhões de veículos contra 23,3 em São Paulo).



A Figura 38 apresenta os volumes consumidos pelos principais centros de consumo do etanol produzido em Minas Gerais no últimos 5 anos. Observa-se uma forte queda do autoconsumo (curva azul).



* Mil m3

Figura 38 - Dinâmica dos 3 principais centros de consumo de etanol produzido em Minas Gerais (segundo SIAMIG 2012). O ano 2012 foi estimado a partir dos dados jan-set 2012.

Segundo a SIAMIG, o Sindicato da Indústria do Açúcar no estado de Minas Gerais, **somente 26% da produção mineira é consumida em Minas Gerais**. A região de Belo Horizonte consome principalmente etanol oriundo de São Paulo. Como comparação, observa-se que São Paulo produz 65% de seu consumo.

Para melhorar sua competitividade, o grupo Coruripe participa de uma parceria público-privada que visa à construção de estradas a partir do Triângulo Mineiro. Sob essa mesma ótica, a construção de um "alcoolduto" está em andamento, ligando os centros de produção de Goiás e Minas Gerais ao porto de São Sebastião em São Paulo.

Pesquisas estão em desenvolvimento em inúmeras instituições no sentido de se aumentar o rendimento na obtenção de etanol de cana-de-açúcar. Essas pesquisas estão concentradas no melhoramento genético de leveduras e na busca por variedades de cana-de-açúcar com teor mais elevado de sacarose. Técnicas de imobilização da leveduras no processo fermentativo, tem proporcionado aumento de rendimento em 5%. (AGEITEC – Embrapa)

A discussão do potencial econômico deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.



Bioquerosene

Contexto

A Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) aponta o uso de bioquerosene como a principal solução para mitigar as emissões do setor aéreo. Recentemente, com a inauguração do primeiro aeroporto industrial do País e a assinatura do acordo entre Estado de Minas Gerais e 17 instituições para o desenvolvimento e consolidação da cadeia produtiva de bioquerosene para a aviação, Minas Gerais se posiciona favoravelmente na ampliação dessa fonte de energia. Segundo a IATA, no mundo, a demanda potencial para o uso de bioquerosene é de cerca de 140 bilhões de litros por ano. O projeto do Estado de Minas Gerais busca alavancar a estrutura agrícola para transformar o Estado em grande fornecedor de insumos para produção de bioquerosene, por meio da introdução de matérias-primas com potencial bioenergético e de uma cadeia de suprimentos altamente integrada com as vocações regionais. Ou seja, além de usar cadeias já existentes, como da cana-de-açúcar, novas rotas de produção também estão sendo pesquisadas. Entre elas destacam-se a cadeia extrativista da macaúba, da camelina, uma espécie de arbusto exótico. A necessidade de importar a camelina tem um motivo: enquanto seu ciclo é de apenas três meses, a macaúba demora cinco anos para começar a produzir. O projeto prevê a realização de testes, tratamento tributário diferenciado, programas de capacitação e assistência técnica, desenvolvimento de programas de integração de silvicultura, lavoura e pecuária para incentivar os produtores.

Inventário de instalações produtoras de bioquerosene

Não foi possível encontrar instalações e empreendimentos produtores de bioquerosene em Minas Gerais. Este item deverá ser discutido e complementado nas oficinas territoriais com os atores envolvidos no processo.

Potencial de geração de energia

Os potenciais teórico, técnico, econômico, bem como as barreiras e restrições serão completados no processo participativo.

Barreiras e restrições

A discussão das barreiras e restrições deverá ser realizada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre projetos de instalações em Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.



Capítulo 3 - Hidroeletricidade

A hidroeletricidade é a energia elétrica originada do aproveitamento da energia potencial gravitacional da água contida em uma represa elevada e/ou da energia cinética de cursos d'água. A potência gerada é proporcional à altura da queda de água e à vazão.

Recursos hídricos

Contexto

Atualmente, a hidroeletricidade encontra-se difundida em todo o mundo, sendo particularmente utilizada nos países que dispõem de grande potencial hidroelétrico. No Brasil, além de ser um fator histórico de desenvolvimento da economia, a energia hidrelétrica desempenha papel importante na integração e no desenvolvimento de regiões distantes dos grandes centros urbanos e industriais.

Segundo a Agência Internacional de Energia, 16% da sua matriz elétrica mundial é composta por recursos hídricos, enquanto esse valor no Brasil chega a 76,9% (2012). Da parcela referente a 16% de hidroeletricidade no mundo, a China é que tem maior participação (20%) e logo após vem o Brasil, com participação de 13%, seguido por Canadá (11%), Estados Unidos (10%) e Rússia (5%).

O estado de Minas Gerais tem cerca de 10.000 cursos d'água distribuídos em 17 bacias hidrográficas, como é mostrado na Figura 39, e 36 **Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no estado de Minas Gerais (UPGRHs)** distribuídas em todo o território. Essas Unidades têm como missão acompanhar o desenvolvimento dos planos de bacias hidrográficas. Deve-se observar, especialmente, a bacia do São Francisco, que cobre 40% do território mineiro e que também se estende pelos estados vizinhos. Da mesma maneira, as bacias dos rios Grande e Paranaíba, situadas a sudoeste do estado, concentram a maioria das usinas hidrelétricas.

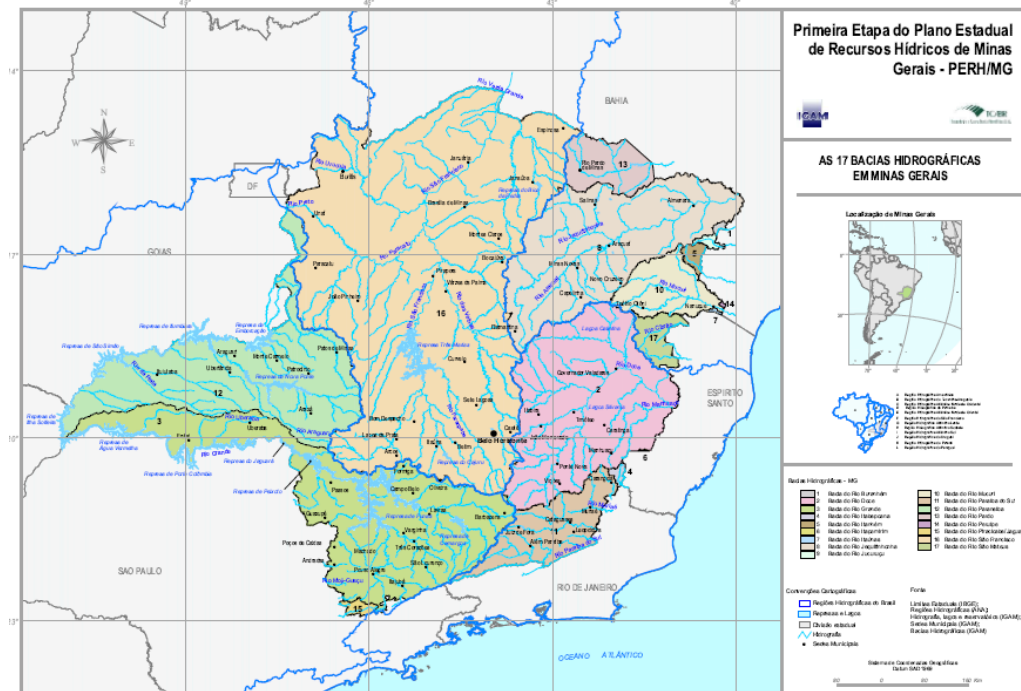
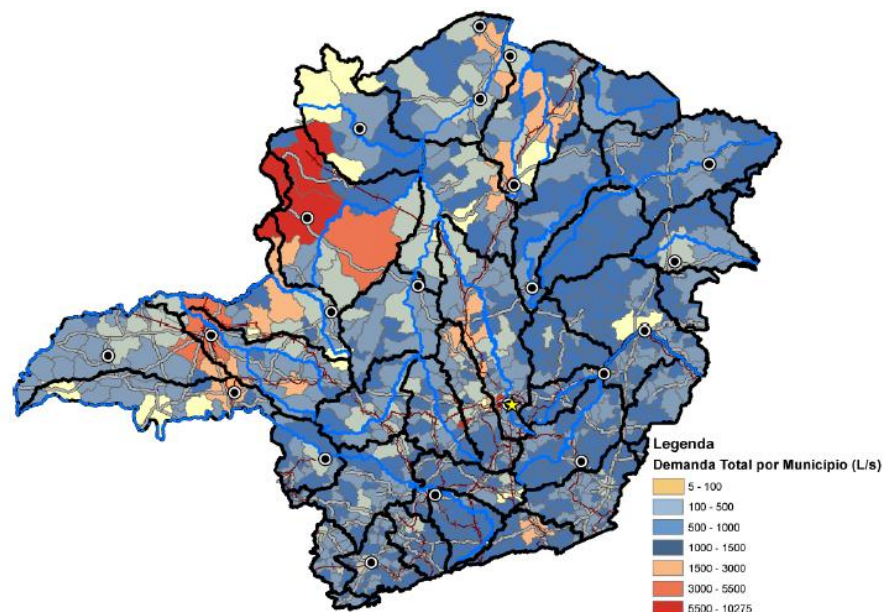


Figura 39 - As 17 bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais (Fonte: PERH/Minas Gerais 2006, SEMAD)

Os usos da água são diversos e dizem respeito, acima de tudo, ao consumo direto para diversas atividades (indústria, mineração, agricultura), com um predomínio da irrigação (47%) na agricultura. Além disso, a distribuição desses usos é relativamente desigual entre as regiões de Minas Gerais, com uma demanda especialmente elevada na região Noroeste do estado (Figura 40).

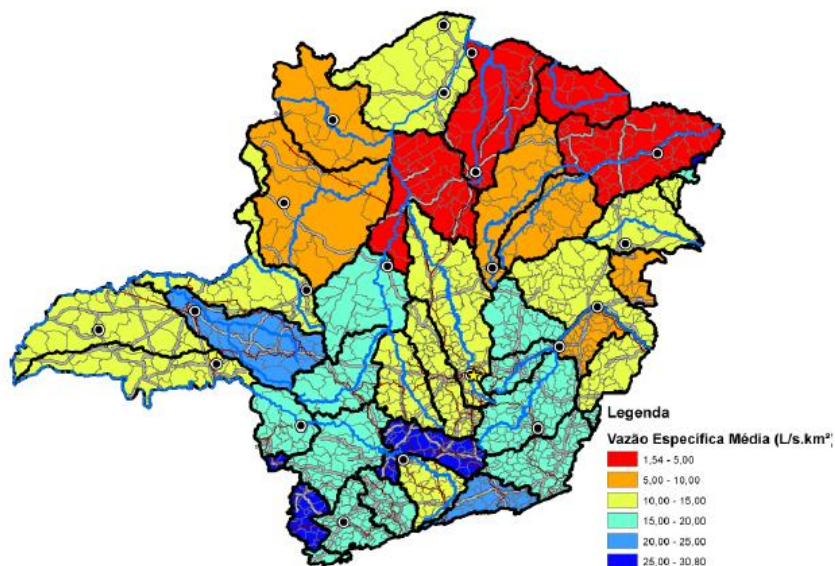
Ressalta-se que o estado de Minas Gerais dispõe de um Plano de Gerenciamento da Água - **Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH)**, publicado em 2006, que se baseia na escala de planejamento e gerenciamento das bacias hidrográficas.



Fonte: Consórcio HOLOS-FAHMA-DELGITEC

Figura 40 - Distribuição por município do consumo de água em Minas Gerais (Fonte: PERH/MG 2006, SEMAD)

As bacias hidrográficas situadas na porção mais ao sul de Minas Gerais apresentam condições mais favoráveis, a priori, ao desenvolvimento de barragens, considerando-se as vazões médias existentes, como mostra o mapa da Figura 41. Além disso, a demanda em termos de consumo pelos diversos setores de atividade é menor nessa região.



Fonte: Consórcio HOLOS-FAHMA-DELGITEC

Figura 41 - Vazão média (L/s.km²) dos cursos d'água em Minas Gerais (Fonte: PERH/MG 2006, SEMAD)



Inventário de usinas e instalações hidrelétricas em Minas Gerais

Segundo a ANEEL, o estado de Minas Gerais tinha 478 usinas de geração elétrica em 2013, com uma potência total instalada de 20.095 MW. As barragens hidrelétricas em operação representam quase **90% da potência total instalada**, ou seja, **18.091 MW**.

Nota-se que as centrais hidrelétricas são definidas da seguinte maneira:

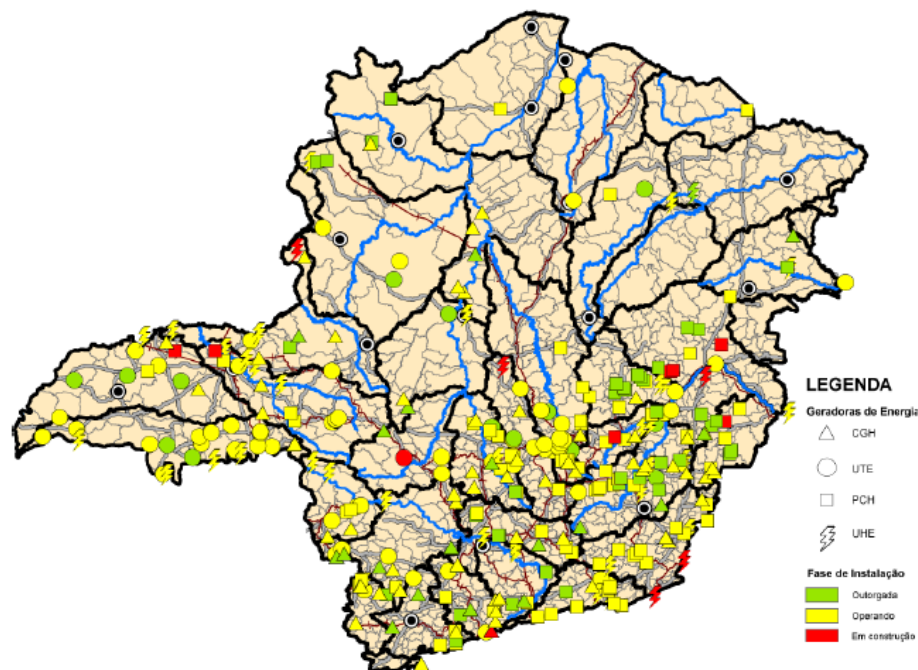
- CGH – *Central Geradora Hidrelétrica*, é uma instalação cuja potência instalada é **inferior a 1 MW** ;
- PCH – *Pequena Central Hidrelétrica*, conforme a Resolução nº394 de 1998 da ANEEL corresponde a uma central cuja potência está compreendida **entre 1 e 30 MW**, e cuja superfície do reservatório é inferior a 3 km² ;
- UHE – *Usina Hidrelétrica de Energia* é uma instalação cuja potência instalada é **superior a 30 MW**, ou cuja superfície do reservatório é superior a 3 km² (300 ha).

Segundo o Balanço Energético 2011 da CEMIG, a geração hidroelétrica de Minas Gerais era de 63.303 GWh em 2009 e **62.689 GWh em 2010**. No fim de 2013, o estado contabilizava **259 centrais hidrelétricas**, sendo que 95% da potência instalada corresponde às 50 UHEs, conforme a Tabela 50.

Tabela 50 - Distribuição por tipo de hidrelétricas em operação em Minas Gerais em 2013 (Fonte : ANEEL 2013)

TIPO	QUANTIDADE	POTÊNCIA ACUMULADA (KW)	%
CGH	108	67.755	0,37
PCH	101	833.566	4,61
UHE	50	17.190.152	95,02
Total	259	18.091.473	-

Na Figura 42 apresenta-se uma síntese das instalações (em operação, mas também em construção e que receberam uma autorização da ANEEL) de geração de energia elétrica em Minas Gerais, permitindo observar uma **grande concentração no sul-sudeste do estado**, especialmente de centrais hidrelétricas.



Fonte: Consórcio HOLOS-FAHMA-DELGITEC

Figura 42 - Instalações de geração de energia elétrica em Minas Gerais (Fonte: Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos, IGAM)

Segundo o banco de dados da ANEEL, 1 CGH (0,8 MW), 6 PCH (55,3 MW) e 1 UHE (Batalha: 52,5 MW) estão em construção, significando uma potência adicional de **108,6 MW para os próximos anos**.

Da mesma maneira, 56 barragens (com uma **potência total de 860 MW**) receberam autorização da ANEEL, mas a fase de construção ainda não foi iniciada. São mostradas na Tabela 51 as barragens que receberam autorização e que estão outorgadas pela ANEEL.

Tabela 51 - Distribuição por tipo de instalações hidrelétricas com autorização em Minas Gerais em 2013 (Fonte: ANEEL 2013)

TIPO	QUANTIDADE	POTÊNCIA ACUMULADA (KW)
CGH	17	9.232
PCH	37	620.945
UHE	2	230.000
Total	259	860.177

Na Tabela 52 é apresentada a capacidade total das instalações em operação e autorizadas nas principais bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais, segundo o Programa de



Geração Hidroelétrica em Minas Gerais (PGHMG) 2007-2027. Somente 7 bacias hidrográficas receberam instalações hidrelétricas.

Tabela 52 - Distribuição por bacia hidrográfica das instalações hidrelétricas em operação e autorizadas em Minas Gerais (Fonte: PGHMG 2007-2027)

BACIA HIDROGRÁFICA	BARRAGENS EM OPERAÇÃO E AUTORIZADAS (MW ACUMULADOS)	UHE	PCH
São Francisco	727,4	3	26
Jequitinhonha	481	2	1
Mucuri	60	1	0
Doce	1.394,30	12	46
Paraíba do Sul	996	8	27
Piracicaba e Jaguari	0	0	0
Grande	7.379,5	13	21
Paranaíba	7.306,7	9	5
Total	18.344,80	48	126

Destaca-se aqui algumas diferenças existentes entre esses dados, cuja fonte é o PGHMG 2007-2027 (18.344,80), e os dados da ANEEL 2013 (potência total de 19.032 MW, incluindo-se as barragens em operação, em construção e que receberam autorização).

Contudo, apesar dessa diferença, esse quadro permite visualizar que as bacias hidrográficas Grande (Sudoeste) e Paranaíba (Oeste) totalizam atualmente quase 80% da potência instalada, com as maiores instalações hidrelétricas (UHE de potência superior a 1.000 MW).

Potencial de geração de energia

Potencial teórico

Para fins desta avaliação são consideradas informações disponibilizadas pelo estudo "PGHMG 2007-2027 – Avaliação Ambiental Estratégica" a partir dos seguintes cenários propostos:

- **Cenário I:** nenhum fator restritivo social ou ambiental é levado em conta, o que significa que todos os projetos identificados podem ser desenvolvidos em Minas Gerais. Trata-se de um cenário máximo, que constitui um limite teórico e não leva em consideração os fatores restritivos a serem citados posteriormente;

- **Cenários II, III e IV:** esses 3 cenários propõem uma inclusão progressiva dos fatores restritivos sociais e ambientais, sendo que o cenário IV é o mais restritivo.

Cabe destacar, que diferentemente dos outros potenciais estimados para as fontes de energia consideradas neste relatório, o potencial teórico da hidroeletricidade leva em conta alguns fatores técnicos relacionados às tecnologias de conversão de energia das usinas.

O potencial máximo ou teórico corresponde, então, ao cenário I, em que nenhuma restrição social ou ambiental é levada em consideração. A Figura 43 ilustra a distribuição dos 380 projetos abordados no âmbito do PGHMG por bacia hidrográfica. Nele estão, também, as instalações em operação no fim de 2006.

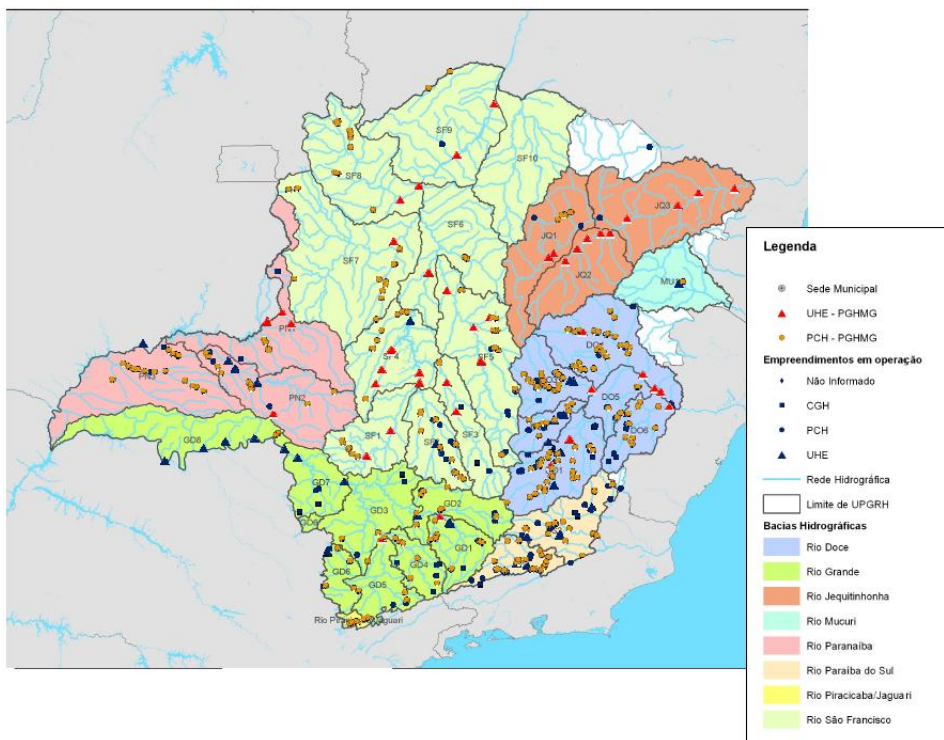


Figura 43 - Projetos existentes e propostos no PGHMG por bacia hidrográfica e unidade de gestão (UPGRH)
(Fonte: PGHMG 2007-2027)

O potencial teórico representa, portanto, uma potência total instalada de **7.691 MW**, para uma geração anual total estimada em **40.424 GWh por ano**. A Figura 44 mostra uma distribuição dos projetos por bacia hidrográfica.

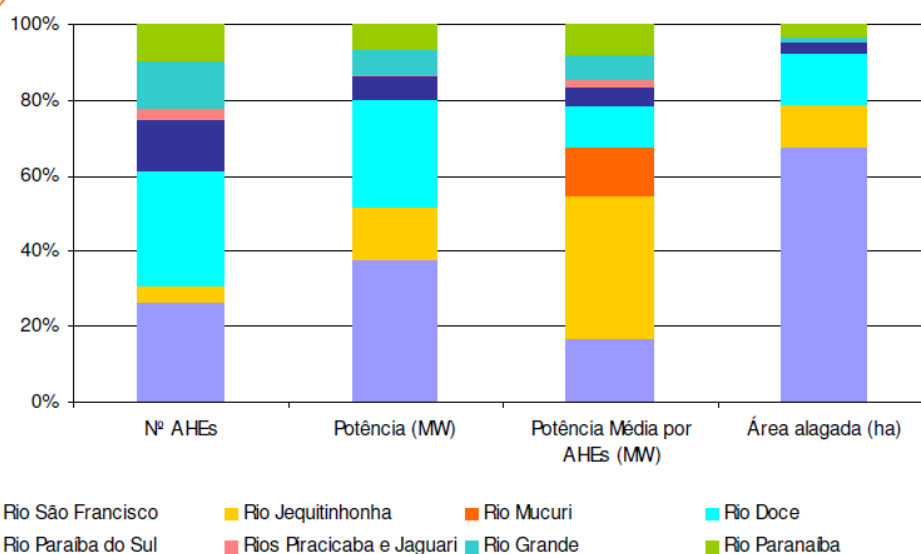


Figura 44 - Distribuição dos 380 projetos por bacia hidrográfica (número de barragens, potência total instalada)
(Fonte: PGHMG 2007-2027)

Deste potencial, 80% está localizado em três (3) bacias hidrográficas (que se estendem, por 63% da superfície total em Minas Gerais): São Francisco, Doce e Jequitinhonha, situados ao norte e leste de Minas Gerais. A Tabela 53 apresenta uma distribuição dos projetos por tipo e por bacia hidrográfica.

Tabela 53 - Distribuição por bacia hidrográfica das obras hidrelétricas identificadas no PGHMG (Fonte: PGHMG 2007-2027)

BACIA HIDROGRÁFICA	BARRAGENS IDENTIFICADAS NO PGHMG (MW ACUMULADOS)	UHE	PCH
São Francisco	2.925	20	81
Jequitinhonha	1.051	11	5
Mucuri	23	0	1
Doce	2.171	8	106
Paraíba do Sul	465	0	53
Piracicaba e Jaguari	39	0	12
Grande	522	2	45
Paranaíba	496	4	32
Total	7.692	45	335



Por fim, as 45 barragens com uma potência superior a 30 MW (UHE) totalizam uma potência instalada de 4.100 MW, ou seja, 53% do potencial adicional identificado no cenário; **47% do potencial correspondem, então, a projetos do tipo PCH (< 30 MW).**

Potencial técnico

Ainda no âmbito do PGHMG, a inclusão progressiva dos fatores restritivos (cenário II) está baseada principalmente no indicador de impacto ambiental (IA), o que se reflete em uma **diminuição significativa do potencial de mobilização** nas bacias hidrográficas, sobretudo na do São Francisco e Doce, nas quais as grandes barragens apresentam um índice de impacto ambiental muito grande.

A Figura 45 mostra a evolução do número de barragens por bacias hidrográficas (esquerda) e a evolução da potência total instalada (direita) em função dos diversos cenários considerados.

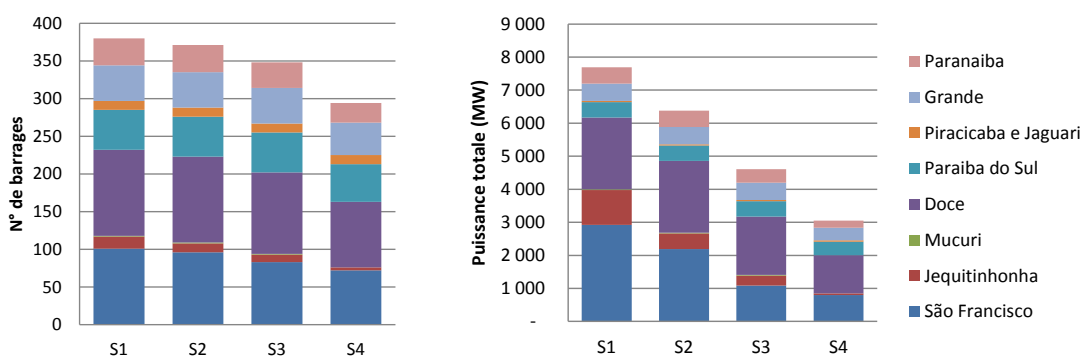


Figura 45 - Número de projetos (esquerda) e potência total instalada por bacia hidrográfica (direita) em função dos cenários do PGHMG (Fonte: PGHMG 2007-2027)

A inclusão progressiva das questões ambientais reflete em uma **diminuição de 23% dos projetos mobilizáveis** (294 projetos no âmbito do cenário mais restritivo - S4 contra 380 no cenário sem restrição - S1) como também, e principalmente, em uma **diminuição de 60% do potencial hidrelétrico mobilizável** em Minas Gerais.

Essa diminuição é particularmente grande nas bacias hidrográficas Jequitinhonha (-95%) e São Francisco (-73%), que concentram, também, a maioria dos projetos hidrelétricos de grande porte (UHE): mais de 3.100 MW.

Conclui-se que **o potencial hidrelétrico adicional em Minas Gerais está situado entre 3.000 e 7.700 MW**, dependendo do nível de inclusão das restrições socioambientais. Esse fator é especialmente preponderante no desenvolvimento dos projetos hidrelétricos de grande



porte (UHE). Esse potencial adicional corresponde a uma capacidade de geração que varia entre 15.800 GWh e 40.500 GWh³⁹.

Também é interessante observar que todos os projetos recenseados pela ANEEL, em 2013, estão também referenciados no PGHMG; em outras palavras, uma parte do potencial identificado no PGHMG está em processo de valorização efetiva em Minas Gerais.

Apresenta-se na Tabela 54 uma síntese, por um lado, dos levantamentos existentes atualmente (potência instalada e geração elétrica) e, por outro, do potencial adicional, no âmbito do cenário mais favorável (Cenário 1 do PGHMG).

Tabela 54 - Levantamento e potencial adicional do potencial hidrelétrico de Minas Gerais

TIPO	LEVANTAMENTO			POTENCIAL		
	Nº	POTÊNCIA (MW)	GERAÇÃO* (GWh)	Nº	POTÊNCIA (MW)	GERAÇÃO (GWh)
PCH	101	833	2.886	335	3.591	18.873
UHE	50	17.190	59.566	45	4.100	21.548
Total	259	18.091	62.689	348	7.691	40.422

* Geração correspondente aos dados do BEEMG 2011 para o ano de 2010

Além disso, como ressalta o PDE 2021, três (3) UHEs estão atualmente outorgadas pela EPE para desenvolvimento no período 2017-2021. Uma análise similar das licitações das PCHs permitiria, também, consolidar o potencial que deveria ser valorizado no horizonte de 2021 em Minas Gerais.

O PDE apresenta outra síntese do conjunto de projetos que devem entrar em fase operacional nos próximos 10 anos. A última edição do PDE foi publicada no fim de 2013 e apresenta as projeções para o horizonte de 2022.

Especialmente, como indicado na Figura 46, diversos projetos de barragens de grande porte (UHE) foram selecionados no âmbito das licitações nacionais, o que significa que eles dispõem de uma licença ambiental preliminar, a Licença Prévia (LP), e que estão em fase de planejamento.

³⁹ Supondo-se um coeficiente de 0,29 tep/MWh e um fator de capacidade de 0,6 de potência instalada (hipótese PGHMinas Gerais).

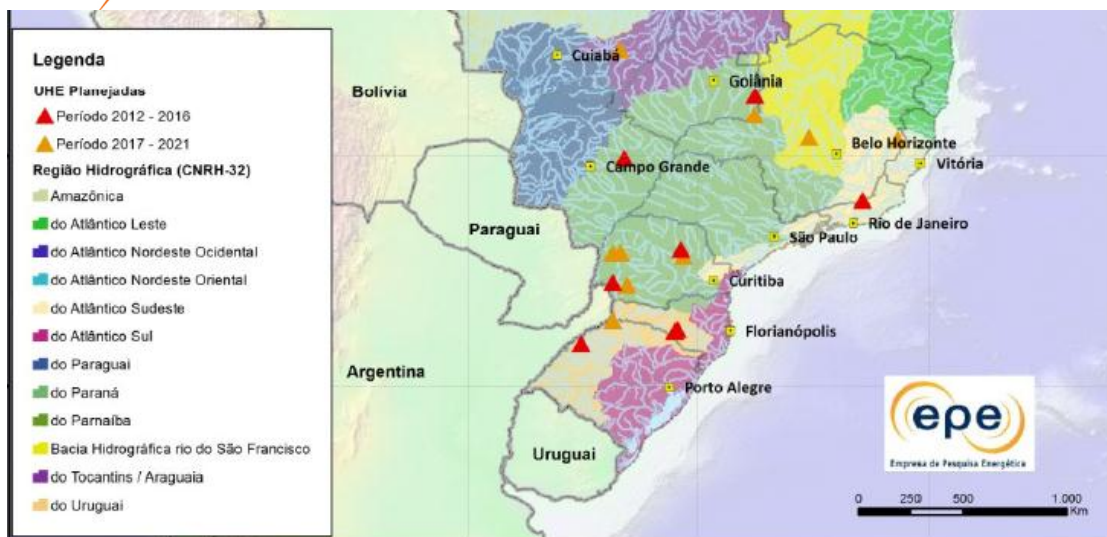


Figura 46 - Localização das UHEs em Minas Gerais (Fonte: PDE 2021)

Uma leitura cruzada do PDE e do PGHMG permite deduzir todos os quatro (4) projetos UHE planejados em Minas Gerais até 2022:

- **UHE Batalha:** Localizada na fronteira com o estado de Goiás, com uma potência de 52,5 MW, identificada no PGHMG (autorização), está atualmente sendo construída e foi mencionada anteriormente como outorgada pela ANEEL;
- **UHE Davinópolis:** Também localizada na fronteira com o estado de Goiás, com uma potência de 74 MW, identificada no PGHMG e no PDE 2022 e com entrada em operação prevista para 2019 (CEMIG Geração e Transmissão S. A./Neoenergia Investimentos S. A.);
- **UHE Pompeu:** Localizada à oeste de Belo Horizonte, com uma potência de 209 MW, identificada no PGHMG e entrada em operação prevista para 2020 (Concremat/Andrade Gutierrez/CEMIG/EDP);
- **UHE Resplendor:** Localizada à leste de Belo Horizonte, próxima da fronteira com o estado do Espírito Santo, com uma potência de 144 MW, identificada no PGHMG e com entrada em operação prevista para 2021 (CEMIG Geração e Transmissão S. A.).

No total, são pelo menos **três (3) UHEs suplementares, com uma potência total de 430 MW**, que deverão entrar em operação até 2021. Essa análise feita para as UHEs poderia também ser feita para as PCHs. Além disso, essa análise permite concluir que o potencial adicional que pode ser desenvolvido no horizonte de 2020 já está definido e regulamentado. Com efeito, considerando-se o sistema de leilão, já apresentado na introdução, não parece ser concebível desenvolver projetos suplementares antes de 2020, ou mesmo antes de 2022.



Potencial econômico

O preço da energia elétrica advinda de usina hidroelétrica (UHE), nos últimos leilões, tem mostrado valores próximos de R\$ 100/MW, enquanto os valores de energia quando da utilização de usinas termoeletricas avizinham-se a R\$ 800. Esses detalhes podem ser verificados na Figura 47.

Fonte de Energia	Energia (MWmed)	(%)	Garantia Física (MWmed)	(%)	Potência Instalada (MW)	(%)	Total (MWh)	Preço Médio de Venda (R\$/MWh)
UHE	209,30	13,56%	209,30	12,41%	450,00	16,40%	54.742.624,30	102,00
BIOMASSA	58,10	3,76%	91,70	5,44%	197,80	7,21%	10.023.725,60	102,41
GÁS NATURAL	866,40	56,12%	900,90	53,43%	1.029,20	37,50%	149.443.278,20	103,27
EÓLICA	410,00	26,56%	484,20	28,72%	1.067,60	38,90%	71.300.230,00	99,58
Total	1.543,80		1.686,10		2.744,60		285.509.858,10	102,07

Figura 47 - Resultado por fonte leilão A-3 2011. (Fonte: MME⁴⁰)

Assim, o potencial economicamente atingível é o potencial técnico das UHE em Minas Gerais, ou seja **4,1 GW**, gerando **21.5TWh**.

Barreiras e restrições

A construção e a utilização de uma instalação hidrelétrica refletem em mudanças diretas e indiretas na disponibilidade dos recursos hídricos, nos ecossistemas aquáticos e terrestres ou, ainda, na economia local. O relatório "PGHMG 2007-2027 Avaliação Ambiental Estratégica" faz uma análise detalhada dos principais fatores restritivos (e oportunidades) considerados no âmbito da avaliação do potencial de desenvolvimento hidrelétrico do estado de Minas Gerais. A Tabela 55 apresenta uma síntese dos parâmetros considerados no relatório PGHMG.⁴¹

⁴⁰ http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Leilxes_de_Geraxo_-_resultados_2011_xfinal_x4x.pdf

⁴¹ Programa de Geração Hidrelétrica em Minas Gerais – Avaliação Ambiental Estratégica, dezembro de 2007, Secretaria de estado de Desenvolvimento Econômico (SEDE) e Secretaria do estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD).



Tabela 55 - Fatores restritivos considerados no âmbito da Avaliação Ambiental Estratégica do potencial hidrelétrico de Minas Gerais (Fonte: PGHMG 2007-2027)

TEMA	PARÂMETROS
Recursos hídricos	Alteração da dinâmica fluvial Aumento dos conflitos de uso Controle das vazões a jusante
Ecossistemas aquáticos	Degradação da qualidade da água Impactos sobre as espécies de peixes
Ecossistemas terrestres	Crescimento dos riscos de erosão Assoreamento das bacias hidrográficas Diminuição do potencial mineral Pressão sobre as áreas protegidas
Socioeconomia	Aumento da receita tributária Riscos para as áreas urbanizadas Impactos sobre os modos de vida tradicionais Impactos sobre os sítios arqueológicos

O conjunto dos resultados dos impactos sobre cada bacia hidrográfica possibilitou a elaboração de três indicadores que serviram de base para o desenvolvimento de cenários diferenciados: Indicador de Impactos Ambientais (IA), Indicador de Benefícios Socioeconômicos (IBSE), Indicador de Benefício Energético (IBE).

A discussão das barreiras e restrições deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre projetos e empreendimentos hidrelétricos em Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.



Incineração dos resíduos sólidos urbanos

Contexto

Atualmente, Minas Gerais não pratica a incineração de resíduos sólidos urbanos. Um projeto de lei que visa proibir essa prática no estado está em tramitação na Assembleia Legislativa de Minas Gerais.

Atualmente, as principais tecnologias de incineração de resíduos são: a combustão em grelha, empregada para RSU no estado bruto (*mass burn*); a combustão em leito fluidizado tipo circulante ou borbulhante, mais utilizada para lodo de esgoto; a combustão em câmaras múltiplas, geralmente adotada para pequenas capacidades e; a combustão em forno rotativo, mais utilizada para resíduos industriais ou grandes quantidades de RSU⁴².

No Brasil, a tecnologia de incineração vem sendo empregada somente para o tratamento dos resíduos industriais e de serviços de saúde sendo, em geral, em fornos do tipo rotativo. Já na Europa e Japão, essa tecnologia é bem mais consolidada, com plantas localizadas em áreas urbanas e com projetos arquitetônicos arrojados. Em países como a Dinamarca e a Suécia, 100% da energia gerada por essas instalações são aproveitadas, grande parte para aquecimento das residências¹². Cabe destacar que os países europeus possuem uma legislação bastante rigorosa quanto aos procedimentos para instalações de tecnologias de incineração e padrões de emissão de poluentes, regulamentados pela Diretiva Europeia 2010/75/EU. É importante observar que na incineração de resíduos sólidos urbanos ocorre tanto a queima de biomassa (renovável) e outros produtos não renováveis.

Inventário de usinas de incineração

Atualmente, em Minas Gerais não existem empreendimentos que possuem aproveitamento energético a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos.

Potencial de geração de energia

Os potenciais teórico, técnico, econômico, bem como as barreiras e restrições serão completados no processo participativo.

⁴² Aproveitamento energético de RSU : guia de orientações para governos municipais de Minas Gerais.



Barreiras e restrições

A discussão das barreiras e restrições deverá ser realizada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre projetos de instalações em Minas Gerais e outras possíveis localidades. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

Complementaridade hidro eólica

A crescente restrição de atender a carga no período seco impõe ao sistema elétrico brasileiro o desafio de complementar o parque hídrico com usinas que tenham a vocação para operarem na base do sistema durante o período seco.

O sistema elétrico brasileiro e incluído nele os empreendimentos energéticos de Minas Gerais, está evoluindo rapidamente de uma base predominantemente hidroelétrica, com parque gerador térmico operando como uma reserva (*backup*) para um sistema hidrotérmico, onde o parque térmico tem que despachar na base, durante o período seco.

Considerando que devido às condições climatológicas, o potencial hidrelétrico brasileiro se mostra mais predominante no período inverso do potencial eólico, pode-se inferir que esses potenciais venham a ser complementares, quanto à demanda de energia elétrica no País.

Diante da necessidade de aprofundamento dos conhecimentos técnicos destes potenciais regionais, a Feam realizou estudo sobre complementaridade hidro eólico analisando e comparando os dados de geração de energia elétrica de usinas hidrelétricas do Sistema Integrado Nacional (SIN), bem como os dados gerados pelo estudo da CEMIG, apresentado no Atlas Eólico de Minas Gerais. Para efeito desse estudo foram analisados a produção de energia elétrica no rio Grande, que integra a bacia do rio Paraná. Os dados referem-se ao ano de 2012 e foram extraídos do histórico de geração do SIN. As UHEs de Água Vermelha e Marimondo mostraram uma queda na produção que pode estar ligada a um ciclo temporal, na UHE de Mascarenhas de Moraes é observado uma regularização de vazão, porém as UHEs de Furnas, Porto de Colômbia, Itutinga, Igarapava e Camargos demonstram uma queda de produção em períodos mais secos, o que favorece a complementaridade hidro eólico conforme Figura 48.

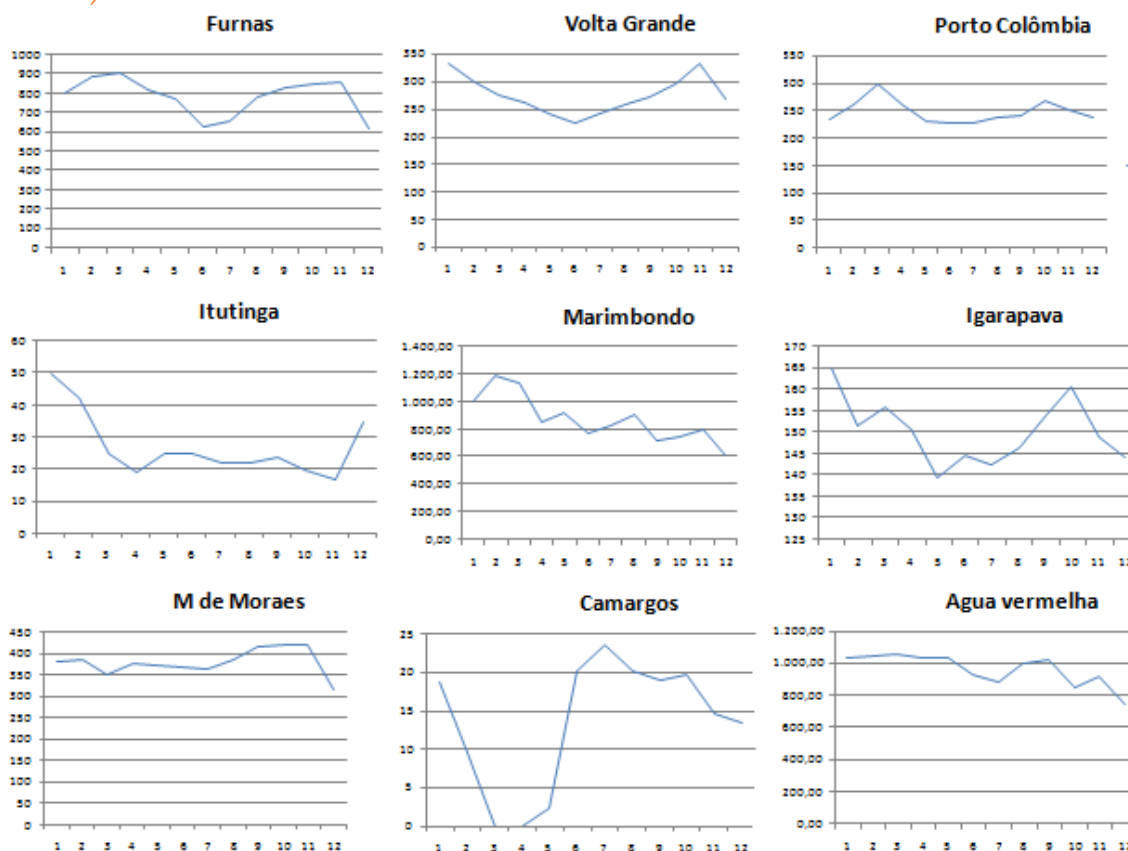


Figura 48 - Produção de Energia no rio Grande em 2012

Cabe frisar que usinas eólicas, assim como as PCHs, apresentam reduzido tempo de construção e relativo menor impacto ambiental, minimizando o risco de atraso nos projetos tão comuns em projetos de grande porte, em especial projetos hidroelétricos.

Além da variabilidade sazonal deverão ser considerados também a variabilidade natural climática diária e anual, bem como a mudança climática global e regional. O uso adequado do conhecimento das variabilidades climáticas mensais, sazonais e outras escalas de tempo pode melhorar a gestão hidro energética nas condições atuais, colaborando com a adaptação de sistemas às condições de mudanças.

Desta forma, explorar essa combinação de fontes energéticas em sistema de complementariedade representa uma importante oportunidade a ser avaliada e explorada em Minas Gerais em vista da necessidade de mitigar as emissões de gases de efeito estufa e ampliar a segurança energética de forma custo-efetiva.



Complementaridade hidro solar

A expressão aproveitamento híbrido hidrelétrico fotovoltaico refere-se a um sistema de geração baseado em um aproveitamento hidrelétrico e um fotovoltaico operando em conjunto (não necessariamente em paralelo) para atender as demandas de um conjunto de cargas consumidoras. Uma complementaridade entre as fontes de energia pode então beneficiar o dimensionamento e a operação desse tipo de sistema. Essa complementaridade pode ser aproveitada em um sistema que apresente melhores condições técnicas e econômicas que um sistema baseado em apenas uma dessas fontes.

Um sistema híbrido hidrelétrico fotovoltaico é então constituído pelos dois geradores, um hidrelétrico e outro fotovoltaico, pelas cargas consumidoras e pelo cabeamento elétrico para sua interligação. Os mais comuns são os reservatórios para acumulação de água e as baterias, podendo também ser empregados reservatórios de ar comprimido ou volantes.

Os sistemas energéticos são usualmente operados mediante algumas estratégias de operação básicas, como: a estratégia que prevê descarte da energia excedente, as que preveem armazenamento de energia antes e depois do processo de conversão, a que prevê gerenciamento da energia consumida e a que prevê inserção da energia gerada em um sistema energético de grande porte. (Alexandre Beluco, Paulo K. Souza e Arno Krenzinger – artigo: PV hydro hybrid systems)

Minas Gerais possui radiação solar global diária média anual entre 5,5 e 6,5 kWh/m².dia, sendo que para elaboração de estudos de viabilidade de instalações de sistemas fotovoltaicos planos (sem concentração), o requisito é de que a radiação solar deve ser maior do que 5,5 kWh/m².dia. Essa situação corrobora para a complementaridade no tempo entre as disponibilidades hídrica e solar em algumas regiões do estado.(CEMIG, Atlas solarimétrico de Minas Gerais)

Memoriais de cálculo

Valorização dos resíduos em aterros

Potencial teórico

O potencial teórico presuppõe que 100% da população mineira tenha seus resíduos sólidos urbanos coletados. Neste caso, 154.000 Nm³/h de LFG são emitidos, contendo cerca de 50% de CH₄.

Considerando que 100% do biogás gerado é aproveitado, sem nenhuma perda, a energia elétrica gerada poderia atingir 650 GWh, através de 760 MW instalados.



Potencial técnico

Considera-se apenas os aterros que acumulam resíduos de municípios com **mais de 50.000 habitantes**, conforme verificado na Tabela 56.

Tabela 56 - Resíduos sólidos e biogás gerados pelos aterros de cidades com 50.000 habitantes, ou mais, em Minas Gerais (segundo a FEAM, entrevistas em 11/12/13)

POPULAÇÃO CONSIDERADA*	RESÍDUOS (t / dia)	MÉDIA PONDERADA DOS RESÍDUOS POR HABITANTE** (kg/dia)	VAZÃO DE BIOGÁS*** RECUPERÁVEL**** (Nm ³ /h)
9.068.621	6.449	0,71	17.719

* Para os aterros considerados (i.e. agrupando mais de 50.000 habitantes), a população atingida chega a 99 – 100% quando o dado está disponível. A população considerada é, portanto, a população total participante em um determinado aterro.

** Esse dado varia conforme o tamanho do município (um habitante de uma grande cidade consome mais plásticos, por exemplo). Dado fornecido pela FEAM, a partir de levantamentos e dedução.

*** A composição exata dos resíduos influencia na composição e na quantidade de biogás que é extraída do aterro. Esses dados não são conhecidos com exatidão em cada aterro. Além disso, eles variam ao longo do tempo. O coeficiente utilizado aqui, que permite calcular uma vazão de biogás a partir de um fluxo de resíduos, é o utilizado para o estudo de viabilidade de Contagem.⁴³

**** Considerando que no melhor caso e usando um sistema ativo de extração, é possível captar 70% do LFG emitido.

Para aproveitar essa quantidade de biogás foi considerado o uso dos 3 tipos de motores definidos pela Tabela 57 :

Tabela 57 - Características dos motores considerados para a valorização do biogás (Fonte: cf. notas de rodapé)

	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3
Tipo	Motor de combustão interna ⁴⁴	Motor de combustão interna ⁴⁵	Microgerador ⁴⁶
Vazão de gás necessária (Nm ³ /h)	700	470	50
Capacidade (kW)	1 400	800	70

⁴³ O estudo Engebio sobre o potencial de Contagem (op.cit.) nos permite calcular em 2010 um coeficiente de 0,01057 Nm³/h para cada tonelada de resíduo no ano. Esse coeficiente aumenta em 15% em 10 anos para Contagem, e muda em pelo menos -20% para o aterro de Betim (mesma fonte). Uma faixa similar (0,01+/-20%) é utilizada no estudo EPE (op.cit.).

⁴⁴ Análise da pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento energético de biogás do aterro sanitário de Contagem. Engebio, 2010.

⁴⁵ Atlas dos resíduos sólidos urbanos, ABRELPE.

⁴⁶ Microgerador da marca STEMAC, catálogo 2012



Para avaliar o potencial técnico, foi considerado o uso gradual dos tres motores. Na primeira etapa, somente o motor 1 será utilizado. Na segunda etapa, as vazões de gás ainda não valorizadas são utilizadas por motores do tipo 2. E assim sucessivamente para o caso 3. Todos eles podem ser vistos na Tabela 58. O detalhamento dos cálculos por aterro é fornecido no fim da seção.

Tabela 58 - Potencial energético dos aterros de Minas Gerais, conforme 3 casos (Fonte: EnvirOconsult)

	ETAPA 1: motor 1.400kW	ETAPA 2: motor 1.400kW+800kW	ETAPA 3: motor 1.400kW+800kW+70kW
Motores considerados	1	1, depois 2	1, depois 2, depois 3
Potencial instalável (MW)	22,4	26,4	37,7

Esses potenciais instaláveis são da mesma magnitude que o número proposto pela ABRELPE (30.8MW). A capacidade instalável em cada aterro pode ser visto na Tabela 59.

Tabela 59 - Capacidade instalável em cada aterro de Minas Gerais com mais de 50.000 habitantes, conforme as 3 etapas de cálculos (Fonte: EnvirOconsult)

Aterros	População atendida	Resíduos (t / ano)	Biogás recuperado (Nm ³ /h)	ETAPA 1 (MW)	ETAPA 2 (MW)	ETAPA 3 (MW)
Juiz de Fora (Vital Engenharia)	859.323	567.71	1533	2.8	2.8	2.94
SANTANA DO PARAÍSO	731.717	458.29	1238	1.4	2.2	3.6
Sabará (Vital Engenharia)	3.033.737	2.547.49	6.880	12.6	13.4	14.8
Contagem	595.386	447.13	1.511	2.8	2.8	2.94
Uberlândia	587.266	439.54	1.187	1.4	2.2	3.53
Betim (Aterro da Essencis)	461.052	306.26	827	1.4	1.4	1.54
Ribeirão das Neves	294.153	199.43	539	0	0.8	2.2



Uberaba	289.376	195.74	529	0	0.8	2.13
Sete Lagoas	208.956	134.91	364	0	0	0.49
Santa Luzia	202.378	130.07	351	0	0	0.49
Itajubá	96.685	53.77	145	0	0	0.14
Poços de Caldas	148.722	91.46	247	0	0	0.28
Patos de Minas	127.724	76.86	208	0	0	0.28
João Molevade	117.962	63.07	170	0	0	0.21
Pouso Alegre	133.308	78.15	211	0	0	0.28
Araguari	102.583	59.82	162	0	0	0.21
Passos	100.842	58.67	158	0	0	0.21
Ituiutaba	93.125	53.56	145	0	0	0.14
Araxá	92.284	53.01	143	0	0	0.14
Pará de Minas	79.599	44.77	121	0	0	0.14
Paracatu	73.772	41.04	111	0	0	0.14
Caratinga	70.474	38.95	105	0	0	0.14
Alfenas	69.176	38.13	103	0	0	0.14
Curvelo	67.382	37.00	100	0	0	0.07
Viçosa	67.305	36.96	100	0	0	0.07
Cataguases	66.112	36.26	98	0	0	0.07
Três Corações	65.826	36.03	97	0	0	0.07
Janaúba	60.570	32.76	88	0	0	0.07
São Sebastião do Paraíso	59.953	32.34	87	0	0	0.07
Formiga	59.487	32.09	87	0	0	0.07
Pirapora	52.385	27.75	75	0	0	0.07



Potencial econômico

No potencial econômico é considerado que a fonte de financiamento dos MDL é viável somente na etapa 1 de cálculo, seja usando os motores maiores (1.400kW).

Valorização dos lodos de estações de tratamento de esgoto

Potencial teórico

De acordo com as estimativas de emissões de gases de efeito estufa para o estado, a FEAM estima que 62,3 mil toneladas de metano⁴⁷ (CH₄) foram emitidas pelos esgotos sanitários em 2010. Esse cálculo estima a parcela tratada de maneira anaeróbica, em reatores, fossas, etc., bem como o lançamento *in natura*, aplicando-se os respectivos fatores de emissão para cada tipo de tratamento. Considerando-se que a valorização somente pode acontecer nas estações de tratamento de esgoto, o fator de emissão nas ETE foi usado nesse estudo.

Considerando-se que:

- Um habitante produz 54 g DBO/hab/dia⁴⁸;
- O fator de emissão da DBO em uma estação de tratamento de esgotos é de 0,6 g CH₄/g DBO⁴⁹;
- A massa volumétrica do CH₄ a 15 °C, a 1,013 bar, é de 0,6709 g /L.

Deduz-se que a produção máxima de CH₄ é de 48 L/dia por habitante. Considera-se uma população de 20.593.356 habitantes. Foi considerada somente a população urbana tendo em vista o acesso às infraestruturas de captação e tratamento de efluentes. A valorização do CH₄ é de 6,8944 kWh/m³⁵⁰, sem nenhuma restrição em termo de captação (100% do metano é aproveitado). Assim, a energia potencial é de 2,5 TWh, com uma potência instalada de 286 MW.

Potencial técnico

Considera-se 2 critérios que se adicionam para chegar-se ao potencial técnico:

⁴⁷ Estimativas de emissões de gases de efeito estufa para o estado de Minas Gerais – Ano base 2010

⁴⁸ Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010

⁴⁹ Good Practice Guidance, IPCC, 2000.

⁵⁰ *Etude de marché de la méthanisation et de la valorisation des biogaz*, Ernst & Young para a ADEME e GrDF, em 2008.



- Somente as estações com mais de 30.000 equivalente-habitante interessam⁵¹. Nestas, 100% da população atingida está conectada à rede.
- Cada estação pode tratar 80% dos esgotos sanitários recebidos e 65% do CH₄ emitido na estação é valorizado⁵²

Em todos os casos (Tabela 60), foi feita a suposição de que 100% do metano é emitido a partir da estação de tratamento de esgotos. Essa hipótese superestima a quantidade de gás captável porque uma parte das emissões acontece antes que os efluentes cheguem na estação. Teoricamente de 48 L/dia por habitante, a COPASA fez uma estimativa interna de 15 L/dia.

Considera-se a valorização do CH₄ de 6,8944 kWh/m³⁵³ e uma taxa de mobilização da central térmica de 360 dias por ano⁵⁴.

Tabela 60 - Potencial de metano, produção possível e potência instalável das estações de tratamento de esgotos de Minas Gerais, para 2 critérios (Fonte: EnvirOconsult)

	100 % da pop. das ETE > 30.000 eq-hab	65% CH ₄ captável; 80% de taxa de tratamento*
m ³ CH ₄ /ano	207.483.036	107.891.188
TWh / ano	1,43	0,74
Potência instalável (MW)	166	86

Avaliação do potencial a partir das informações da COPASA

A COPASA avalia que não é interessante, no momento, considerar as estações que tem uma vazão de efluente de entrada inferior a 100 L/s. Para essas situações, acrescenta-se os dados vistos na

Tabela 61.

⁵¹ *Etude de marché, Ernst&Young, op.cit.*

⁵² Segundo *Biogas from wastewater using anaerobic reactors*, FATEC, 2011, que estuda a estação de tratamento de esgotos da região noroeste de São Paulo.

⁵³ *Etude de marché, Ernst&Young, op.cit.*

⁵⁴ *Idem.*



Tabela 61 - Potencial de biogás e valorização energética (segundo dados da COPASA 19/12/13)

População*	Biogás emitido** (m ³ /dia)	Energia produzida (TWh)	Potência instalável (MW)
4.882.541	569.633	1,41	164

*Trata-se, aqui, da população ligada às estações, avaliada por cálculo a partir das vazões na entrada da estação, que são medidas.

** A COPASA considera, a partir de um estudo interno, que cada habitante emite 15L/dia de CH₄. No entanto, para 3 estações a COPASA considerou um valor superior, acarretando no aumento da geração de biogás (m³/dia).

No caso anterior, assim como nos cálculos baseados nos dados da COPASA, encontra-se um potencial próximo a 165 MW que não considera todas barreiras técnicas e econômicas.

À exceção das duas maiores estações de tratamento de esgotos (Arrudas e Onça), os potenciais se prestariam principalmente a centrais de microgeração (<1MW).⁵⁵ A Figura 49 demonstra a potência instalável por ETE gerida pela COPASA.

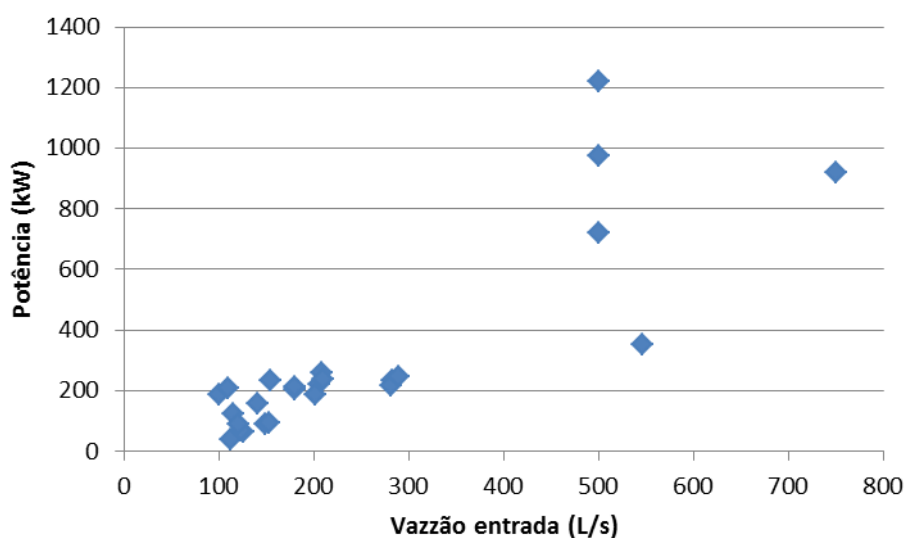


Figura 49 - Potência instalável por estação de tratamento de esgotos gerida pela COPASA (a partir de dados da COPASA, 2013)

Lenha e carvão vegetal

O ciclo das florestas de eucalipto é de 21 anos com corte a cada 7 anos, podendo o tempo de corte variar de 6 a 9 anos dependendo da demanda e necessidade operacional visando

⁵⁵ Supõe-se que elas poderiam captar 65% do CH₄ emitido.



cumprir o abastecimento do mercado. No entanto, esse ciclo não foi considerado no cálculo do **potencial energético teórico** de lenha e carvão vegetal. Também não foram considerados nesses cálculos a eficiência das turbinas envolvidas no processo de transformação da biomassa em energia (Tabela 62).

Já para o **potencial energético técnico** foram levados em consideração o ciclo de corte e a eficiência das turbinas.

Tabela 62 - Informações técnicas – lenha de eucalipto e pinus (Fonte : MAPA 2013 et al)

Item	Eucalipto	Pinus
Incremento Médio Anual	36,4m ³ /ha	28 m ³ /ha
Volume na idade de corte	255 m ³ /ha (7 anos)	280 m ³ /ha (10 anos)
Densidade da lenha comercial	390 kg/m ³	326 Kg/m ³
Poder calorífico inferior	3.100 kcal/kg	4.786 Kcal/Kg

Cabe ressaltar que está em fase de elaboração um novo estudo para consorciar a utilização desse tipo de matéria prima com as projeções de crescimento do setor florestal previsto pelo Plano Nacional de Floresta Plantada. Os novos dados serão apresentados e discutidos durante as oficinas territoriais previstas para a etapa do processo participativo.

Cavaco

Para a execução dos cálculos, foram considerados os seguintes dados :

- Poder Calorífico do Cavaco = 2.600 kcal/kg⁵⁶;
- 1 tonelada seca de eucalipto sem casca = 2,53 m³ de cavaco⁵⁷ ;
- Projeções de área plantada em Minas Gerais = 3.007.000 ha em 2020⁵⁸;
- Densidade do cavaco de eucalipto = 330kg/m³ ⁵⁹;
- Ciclo de corte do eucalipto = 7 anos
- Incremento Médio Anual (IMA) = 39,5m³/ha/ano;
- Rendimento das turbinas = 35%⁶⁰ .

⁵⁶ Otimização Do Uso De Lenha e Cavaco De Madeira Para Produção de Energia em Agroindústria Seropédica. Nascimento, Mário Donizeti do. Universidade Estadual Paulista, 2007

⁵⁷ Fatores de Conversão (<http://aquestaoflorestal.blogspot.com.br/2012/11/conversando-sobre-conversoes.html>, acessado em 12/03/14);

⁵⁸ Política Nacional de Floresta Plantada - PNFP

⁵⁹ Opção Verde (<http://www.opcaoverde.com.br>)

⁶⁰ Apostila de Co-Geração – Newton Paterman Brasil, 2005.



A Tabela 63 demonstra o cálculo referente a produção de energia com utilização do cavaco como fonte energética.

Tabela 63 - Memorial de cálculo referente a produção de energia a partir do cavaco

Volume de Eucalipto (m3 madeira/ano)	Quantidade de cavaco (kg)	Kcal correspondente	GWh/ano
16.968.071,09	7.285.195.932,9	18.941.509.425.544	7.710,14

Biodiesel

A Tabela 64 informa de dados como rendimento em litros de biodiesel por hectare considerando cada uma das culturas, bem como o rendimento total considerando a safra registrada em Minas Gerais, assim como densidade e poder calorífico das culturas.

Tabela 64 - Rendimento e dados complementares das culturas de mamona, soja e girassol (Fonte: Relatório da Petrobio, Indústria e Comércio de Equipamentos e Processos para Biodiesel LTDA)

CULTURA	Rendimento (litros/ha)*	Rendimento total (litros)	Densidade(g/cm3)	Poder calorífico do óleo (Kcal/l)
Mamona	1.200	4.208.400	0,951	8.336,4
Soja	400	411.368.400	0,891	8.125
Girassol	800	3.339.200	0,891	8.404