

Potencial de energias renováveis

Volume I – Contexto, energia eólica e solar

Com o apoio de :

© 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

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 I – Contexto, energia eólica e solar
Belo Horizonte, abril de 2014



SUMÁRIO

<i>Conteúdo do documento</i>	8
<i>Elaboração do documento</i>	8
<i>Versão do documento</i>	8
INTRODUÇÃO.....	9
CONCEITOS: OS DIFERENTES POTENCIAIS AVALIADOS.....	9
CONTEXTO NACIONAL	9
<i>A oferta energética atual</i>	11
<i>Evolução da demanda energética no horizonte 2020 - 2030</i>	14
<i>Evolução da oferta energética no horizonte 2020 - 2030</i>	16
<i>O setor elétrico brasileiro e o mercado de energia</i>	18
<i>Leilões de energia em 2013</i>	21
<i>Eletricidade produzida de maneira descentralizada</i>	23
CONTEXTO MINEIRO.....	24
<i>A demanda energética em Minas Gerais</i>	24
<i>A oferta energética em Minas Gerais</i>	25
<i>A evolução das fontes de energia em Minas Gerais no horizonte de 2030</i>	26
<i>As iniciativas de ação do Estado</i>	29
CAPÍTULO 1 - A ENERGIA EÓLICA.....	31
PARQUES EÓLICOS	31
<i>Contexto</i>	31
<i>Inventário de parques eólicos em Minas Gerais</i>	34
<i>Potencial de geração de energia</i>	35
<i>Barreiras e restrições</i>	43
INSTALAÇÕES EÓLICAS DESCENTRALIZADAS.....	44
<i>Contexto</i>	44
<i>Inventário de instalações eólicas descentralizadas em Minas Gerais</i>	44
<i>Potencial de geração de energia</i>	45
<i>Barreiras e restrições</i>	45
CAPÍTULO 2 - A ENERGIA SOLAR.....	46
USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS	46
<i>Contexto</i>	46
<i>Inventário de usinas solares fotovoltaicas em Minas Gerais</i>	47
<i>Potencial de geração de energia</i>	48
<i>Barreiras e restrições</i>	54
INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS DESCENTRALIZADAS.....	57
<i>Contexto</i>	57
<i>Inventário de instalações fotovoltaicas descentralizadas</i>	57
<i>Potencial de geração de energia</i>	58
<i>Barreiras e restrições</i>	62



SUMÁRIO

CENTRAIS DE CONCENTRAÇÃO SOLAR	63
<i>Contexto</i>	63
<i>Inventário de usinas de concentração solar</i>	65
<i>Potencial de geração de energia</i>	65
<i>Barreiras e restrições</i>	66
AQUECEDORES SOLARES	67
<i>Contexto</i>	67
<i>Inventário de aquecedores solares em Minas Gerais</i>	69
<i>Potencial de geração de energia</i>	71
<i>Barreiras e restrições</i>	73



Lista das Figuras

Figura 1 - Consumo de energia final por fonte (Fonte: segundo BEN 2013)	12
Figura 2 - Parcela da energia renovável em diversos mix de energias (Fonte: BEN 2013)	12
Figura 3 - Comparação da matriz elétrica brasileira 2011-2012 (Fonte: BEN 2013 adaptado)	13
Figura 4 - PIB e consumo de energia per capita no Brasil e projeções (Fonte: PDE 2022)	15
Figura 5 - Projeção da demanda energética no Brasil, por fonte (Elaboração: EnviroConsult, a partir de dados PDE 2022 e PNE 2030)	15
Figura 6 - Evolução da oferta energética brasileira no horizonte de 2022 e parcela das Energias renováveis no mix (Elaboração: EnviroConsult, segundo PDE 2022 e PNE 2030)	16
Figura 7 - Distribuição da demanda energética em Minas Gerais por setor e por tipo (segundo BEEMG 2012)	24
Figura 8 - Balanço Energético de Minas Gerais em 2011 (segundo BEEMG 2012, op.cit.)	25
Figura 9 - Distribuição por fonte da produção energética primária em Minas Gerais (conforme BEEMG 2012, op.cit.)	26
Figura 10 - Evolução da oferta energética em Minas Gerais em função de 2 cenários (conforme Matriz Energética de Minas Gerais 2007 a 2030, op. cit.)	27
Figura 11 - Dimensões clássicas das turbinas eólicas disponíveis no mercado atual, comparadas às dimensões de um Boeing 747 (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG).	32
Figura 12 - Histórico do fator de capacidade médio em periodicidade mensal nos últimos 3 anos (Fonte: ONS)	32
Figura 13 – Potencial eólico brasileiro a 50 m de altura (m/s) (Fonte: Atlas de Energia Elétrica, 2ª Edição, ANEEL)	33
Figura 14 - Parque eólico experimental de Morro do Camelinho (Fonte: CEMIG)	34
Figura 15 - Potencial eólico de Minas Gerais a 50 m de altura (m/s) (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG).	35
Figura 16 - Parques eólicos habilitados pela EPE desde 2009 por município (Fonte: PDE 2021)	36
Figura 17 - Áreas favoráveis para o desenvolvimento de parques eólicos (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG).....	38
Figura 18 - Exemplo de central fotovoltaica no Estádio Magalhães Pinto (Mineirão) em Belo Horizonte (Fonte: Renato Cobucci/Imprensa MG/Divulgação - Sites UAI)	48
Figura 19 - Radiação solar média anual em Minas Gerais [kWh/m.dia] (Fonte: Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, CEMIG).....	49
Figura 20 - Identificação de áreas favoráveis ao desenvolvimento de usinas solares com energia solar (Fonte: Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, CEMIG).....	50
Figura 21 - Unidades de conservação e terras indígenas em Minas Gerais (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG).....	55
Figura 22 - Custo de produção de energia (R\$/kWh) por instalações residenciais de 3kW (Fonte: ABINEE, op.cit.)	60
Figura 23 - Tarifa de energia com impostos para clientes na baixa tensão (Fonte: ABINEE, op.cit.)	61
Figura 24 - Usina solar termelétrica experimental localizada no CEFET-MG (Fonte: Challenges to insert photovoltaic solar energy in the Brazilian electric matrix, CEMIG, World Energy Congress, Daegu 2013)	65
Figura 25 - Aquecedor de água elétrico brasileiro	67
Figura 26 - Distribuição por uso do consumo elétrico nos domicílios brasileiro (Fonte: Souza, 2007, apud Procel 2007)	68
Figura 27 - Evolução dos aquecedores de água solares instalados em Minas Gerais, em m ² de painéis (Fonte: BEEMG 2011, op.cit.).....	69
Figura 28 - Distribuição dos aquecedores de água solares por setor (Fonte: BH Solar)	70



Lista de tabelas

Tabela 1 - Principais indicadores econômicos e energéticos do Brasil e suas projeções (Fonte: PDE 2022)	14
Tabela 2 - Energia gerada no Mundo, por fonte primária, no horizonte 2020 e 2035 para diferentes cenários (Fonte : IEA adaptado)	17
Tabela 3 - Energia gerada no Brasil, por fonte, no horizonte de 2013,2022 e 2030 (Fonte: PDE 2022)	18
Tabela 4 - Dados relativos ao 16º, 17º e 18º leilões (Fonte: EPE 2013, http://epe.gov.br)	22
Tabela 5 - Resultados dos cenários definidos (Fonte: <i>Energy scenarios for the Minas Gerais State in Brazil: an integrated modeling exercise using System Dynamics</i>)	28
Tabela 6 - Potencial eólico de Minas Gerais (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG)	37
Tabela 7 - Resultado final do Leilão de Energia de Reserva A5 de 2013 (Fonte: EPE 2013)	42
Tabela 8 - Impactos ambientais e socioeconômicos identificados pela FEAM a respeito das parques eólicos (Fonte: Utilização de Energia Eólica em Minas Gerais – Aspectos Técnicos e o Meio Ambiente, Comunicado Técnico nº2, GEMUC/DPED/FEAM, fevereiro de 2013)	43
Tabela 9 - Características das 6 áreas "favoráveis" à implantação de usinas solares no solo (Fonte: EnvirOconsult a partir do Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, CEMIG)	50
Tabela 10 - Usinas solares fotovoltaicas com licenças prévias em Minas Gerais (Fonte: SIAM 2013)	52
Tabela 11 - Tarifa média por fonte de energia em R\$/MWh (Fonte: CEMIG, op. cit.)	53
Tabela 12 - Custo de implantação de uma usina solar fotovoltaica (Fonte: FEAM 2013, op.cit)	54
Tabela 13 - Instalações fotovoltaicas e capacidade de produção em Minas Gerais (Fonte: ANEEL 2013)	58
Tabela 14 - Custos de investimentos dos sistemas fotovoltaicos (Fonte: Challenges to insert photovoltaic solar energy in the Brazilian electric matrix, CEMIG, op. cit.)	62
Tabela 15 - Características de diferentes tecnologias (Fonte: KALOGIROU (2009), BEERBAUM e WEINREBE (2000))	66



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 elaboração dos cenários de 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 – Contexto, energia eólica e solar** e Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade.

Elaboração do documento

Este estudo foi elaborado 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 barreiras, oportunidades e ações prioritárias para redução da dependência de energia fóssil e ampliação da utilização de fontes renováveis no estado.

Versão do documento

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



Introdução

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:

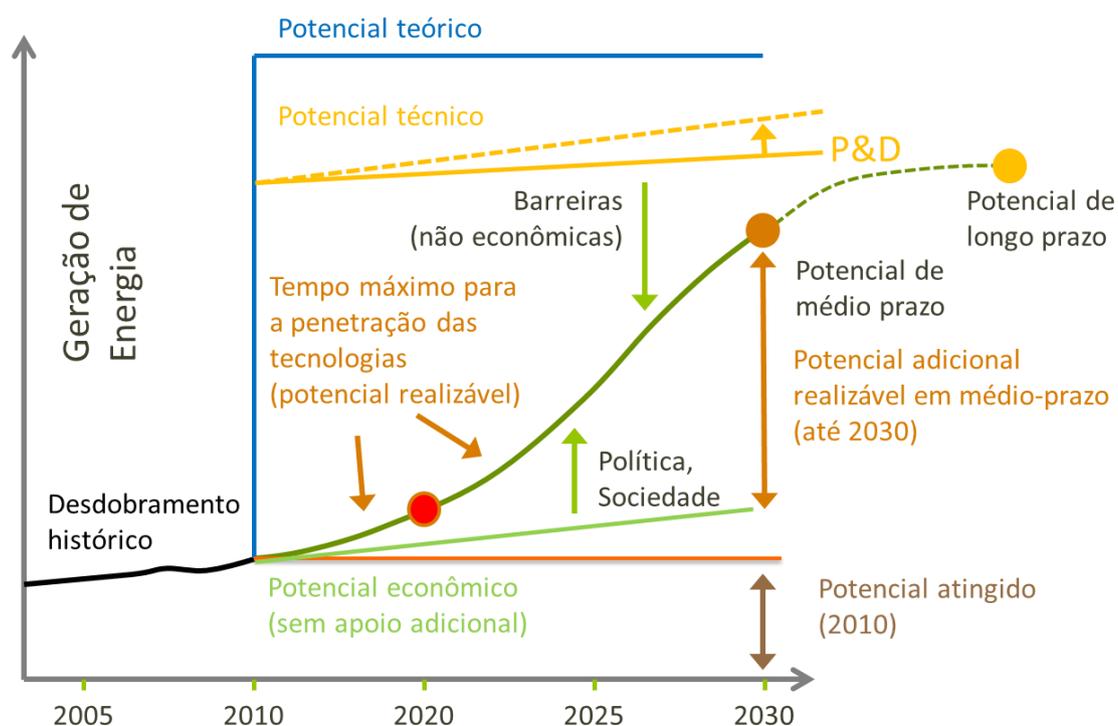


Figura 1 - Metodologia para a definição de potenciais. (Fonte: Resch, Held et al. 2008 adaptado)

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 neste estudo.



Contexto nacional

A oferta energética atual

Ao contrário de grande parte do mundo que utiliza majoritariamente no seu suprimento energético as fontes energéticas não renováveis, com destaque para o petróleo, carvão mineral e gás natural, o Brasil possui um cenário energético bastante favorável com ampla diversificação de sua matriz. Segundo o relatório da Agência Internacional de Energia (IEA)¹, a produção total de energia primária **no mundo**, em 2012, teve **82% de participação das fontes não renováveis**. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), essa parcela foi de **54% no caso Brasileiro** (no ano de 2012) conforme Figura 1, apoiado principalmente no intensivo uso da energia hidráulica e produtos de cana-de-açúcar.

Quando a conjuntura analisada passa a ser a oferta de energia elétrica, o país se destaca ainda mais, possuindo cerca de 84,6% de sua matriz composta por fontes renováveis e um **Sistema Interligado Nacional (SIN)** controlado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), destacado devido à extensão territorial abrangida. Esse sistema permite coordenação e controle entre as diversas regiões para suprimento e produção de energia elétrica no país.

Além desses fatores, na esfera federal são feitos estudos detalhados para composição de cenários que possam antecipar o planejamento de investimentos no setor elétrico e de energia como um todo. A EPE é responsável pela elaboração de documentos como o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e Plano Nacional de Energia (PNE) que determinam projeções de carga e demanda com relação à energia elétrica para priorizar ações que garantam suprimento adequado.

A EPE também elabora anualmente um relatório público sobre o equilíbrio energético nacional (Balanço Energético Nacional, BEN²), em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME). Serão descritos aqui os principais resultados do BEN 2013 (ano de referência 2012).

Em 2012, a oferta interna de energia aumentou em 44,8 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) em relação a 2007³, ou seja, **+18.8%**, atingindo um total de **283,6 Mtep**.

¹ Annual Energy Outlook 2014 - Early Release Overview. Internacional Energy Agency

² https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf

³ Balanço Energético Nacional, BEN 2008. https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2008.pdf

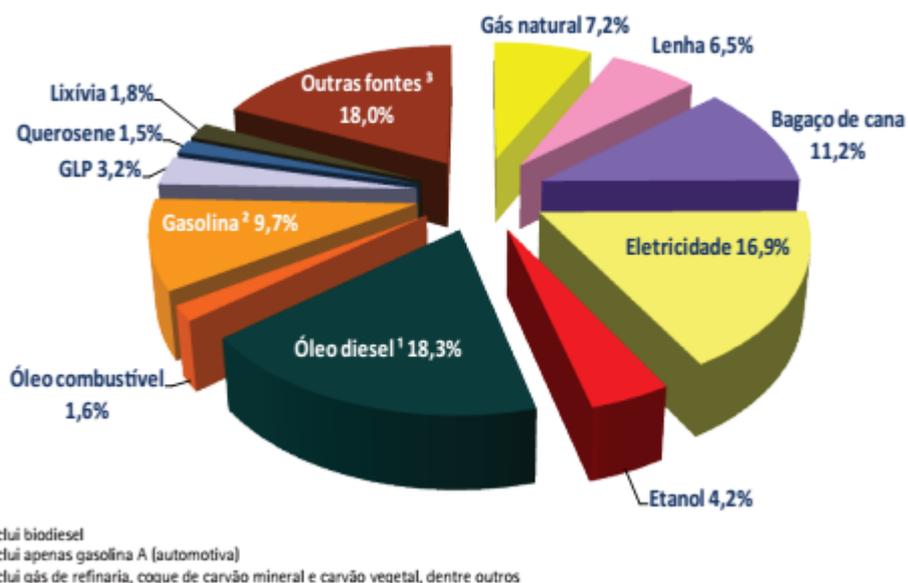


Figura 1 - Consumo de energia final por fonte (Fonte: segundo BEN 2013)

O gás natural, o petróleo e seus derivados responderam por 72,1% do aumento do consumo da demanda de energia de 2007 a 2012, compensando a queda da produção hidrelétrica e da porcentagem de incorporação de etanol na gasolina (passando de 25% para 20%).

Essa modificação do mix acarretou uma queda na porcentagem das energias renováveis, ainda que esse número permaneça muito elevado em relação à média mundial, como se observa na Figura 2.

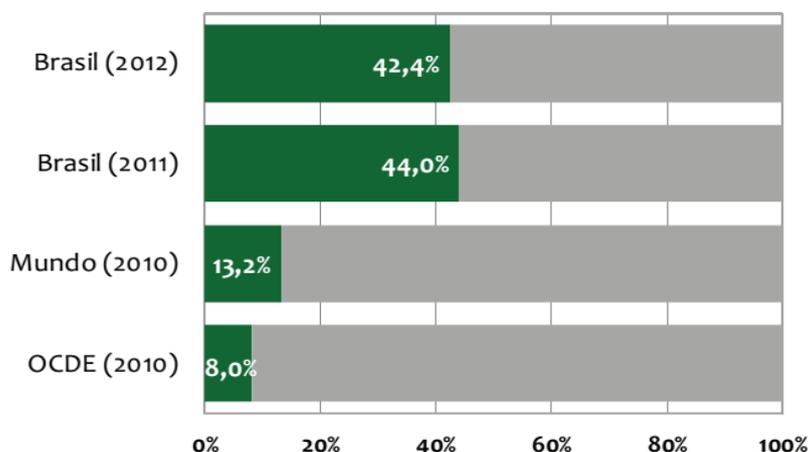


Figura 2 - Parcela da energia renovável em diversos mix de energias (Fonte: BEN 2013)



No conjunto das fontes de energia elétrica disponíveis, a parcela referente a energias renováveis corresponde a 84,5%, conforme visto na Figura 3. Esse número apresenta queda em relação a 2011, apesar do aumento de 1.835 MW do parque hidrelétrico e a quase duplicação da geração elétrica eólica. Essa queda é explicada em grande parte pela relevante diminuição da precipitação média na segunda metade de 2012. A oferta de energia foi compensada principalmente por um aumento no uso do gás natural.

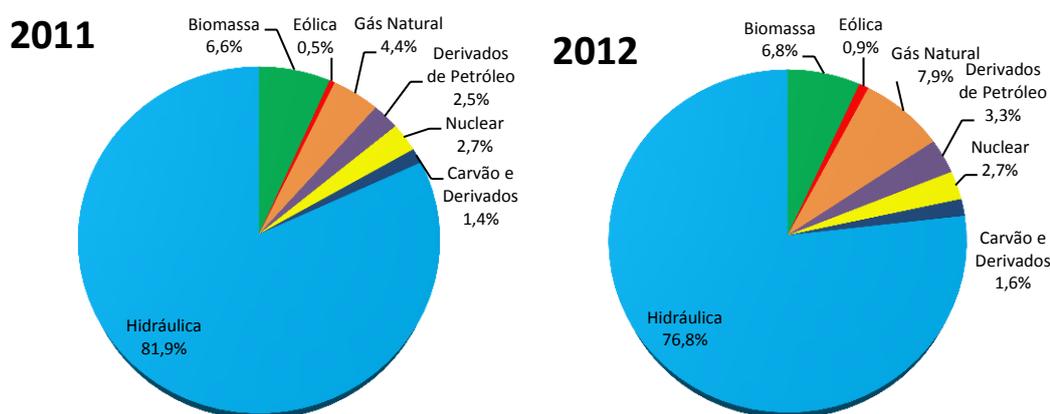


Figura 3 - Comparação da matriz elétrica brasileira 2011-2012 (Fonte: BEN 2013 adaptado)

Vale destacar que, em setembro de 2011, visando aumentar ainda mais a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira, incorporou-se entre os objetivos da Política Energética Nacional (Lei Federal n. 9.478/1997):

- incentivar a geração de energia elétrica a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis, em razão de seu caráter limpo, renovável e complementar à fonte hidráulica;
- garantir o fornecimento de biocombustíveis em todo o território nacional;
- fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável;
- mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes, inclusive com o uso de biocombustíveis.

Entretanto, apesar dos objetivos expostos acima, constata-se que nos últimos anos a parcela de energias renováveis na matriz energética nacional vem diminuindo, o que indica que os esforços para ampliação e desenvolvimento das fontes renováveis ainda não foram capazes de superar a crescente dependência do consumo de combustíveis fósseis.



Evolução da demanda energética no horizonte 2020 - 2030

A partir de dados históricos de oferta e demanda dos anos anteriores, a EPE estuda a evolução da demanda de energia a médio-longo prazo nacionalmente. Os Planos Decenais de Energia (PDE) e suas projeções visam estimar o aumento do consumo 10 anos pós-ano base. Além disso, o próprio Plano busca indicar em quais setores tal mudança se dará de forma mais acentuada. A projeção mais recente é para o ano de 2022 (PDE 2022). Esse estudo alinha-se ao Plano Nacional de Energia 2030, elaborado pela EPE em 2007.

Nesses diversos trabalhos, a evolução da demanda baseia-se em hipóteses de evolução do PIB e do comércio mundiais, do PIB nacional, da população, do consumo e da eficiência energética por setor e uso, como detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais indicadores econômicos e energéticos do Brasil e suas projeções (Fonte: PDE 2022)

	PDE 2022			PNE 2030	
	2013	2022	Evolução anual no período	2030	Evolução anual no período
PIB Brasil (bilhões de R\$ - 2010)	4.129	6.314	4,8 %	-	4,0 %
População (milhões)	196,1	207,2	0,6%	238,6	-
PIB / habitante (R\$/hab - 2010)	21.052	30.473	4,1%	-	-
Consumo de eletricidade (TWh)	520	785	4,7 %	1.086	4,3 %
Consumo de energia final (Mtep)	251	368	4,5 %	482,8	3,7%
Consumo de energia final por habitante (tep/hab)	1,28	1.78	3,8 %	2,33	-

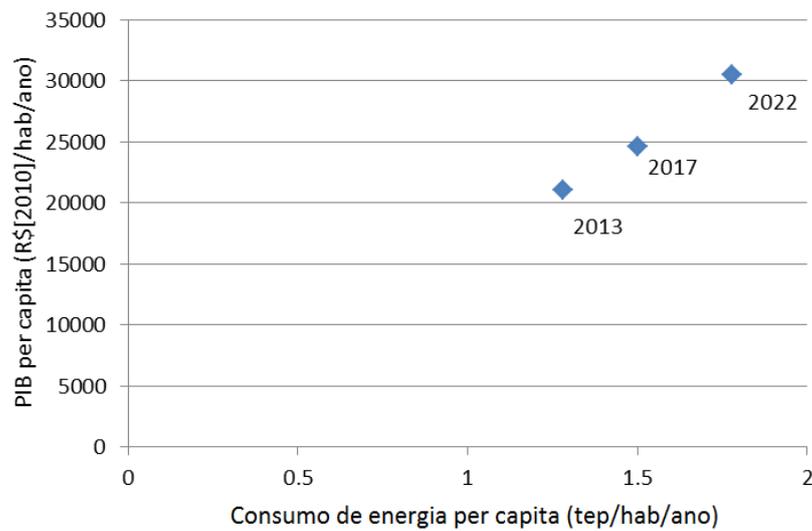


Figura 4 - PIB e consumo de energia per capita no Brasil e projeções (Fonte: PDE 2022)

De acordo com o PNE, está previsto um consumo de energia final de **2,33 tep/habitante** em **2030** no Brasil (ver Figura 4). Como comparação, o consumo de energia final per capita em 2011 na França era de 2,46 tep/habitante, sendo que o objetivo é reduzir esse valor para 2,08 em 2020³. A Figura 5 apresenta a projeção da demanda por fonte energética.

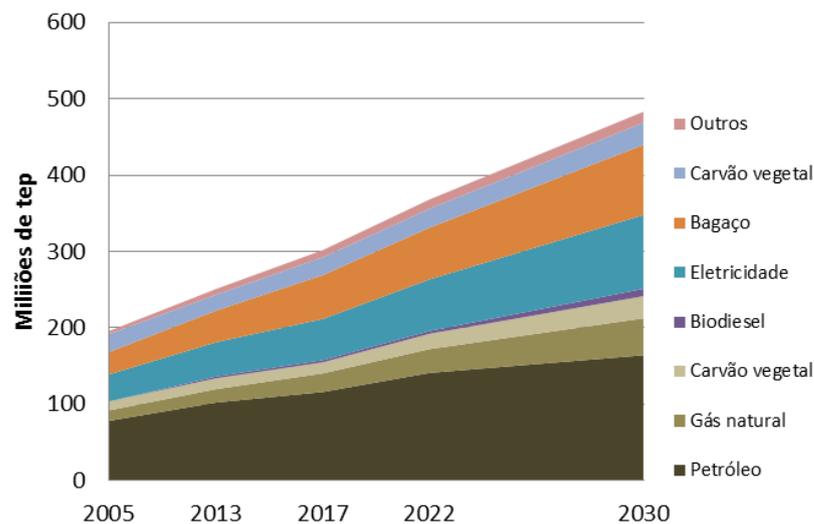


Figura 5 - Projeção da demanda energética no Brasil, por fonte (Elaboração: EnviroConsult, a partir de dados PDE 2022 e PNE 2030)

³ População francesa em 2020 : 64,984 milhões. Além disso, a França fixou como objetivo (*Plano 3x20*) diminuir seu consumo de energia final para 135 Mtep em 2020. Fonte: INSEE.



Evolução da oferta energética no horizonte 2020 - 2030

Analisar as possibilidades de evolução e a pluralidade de percepções e estratégias que podem ser adotadas configura um quadro crítico para a tomada de decisão, especialmente quando se levam em conta os atores globais interessados e presentes na cena energética.

A Figura 6 indica previsão de estabilização da parcela de energias renováveis (45%) na projeção da matriz de energia primária no Brasil, no horizonte 2005-2030, porém com variações na produção das diferentes fontes analisadas no estudo.

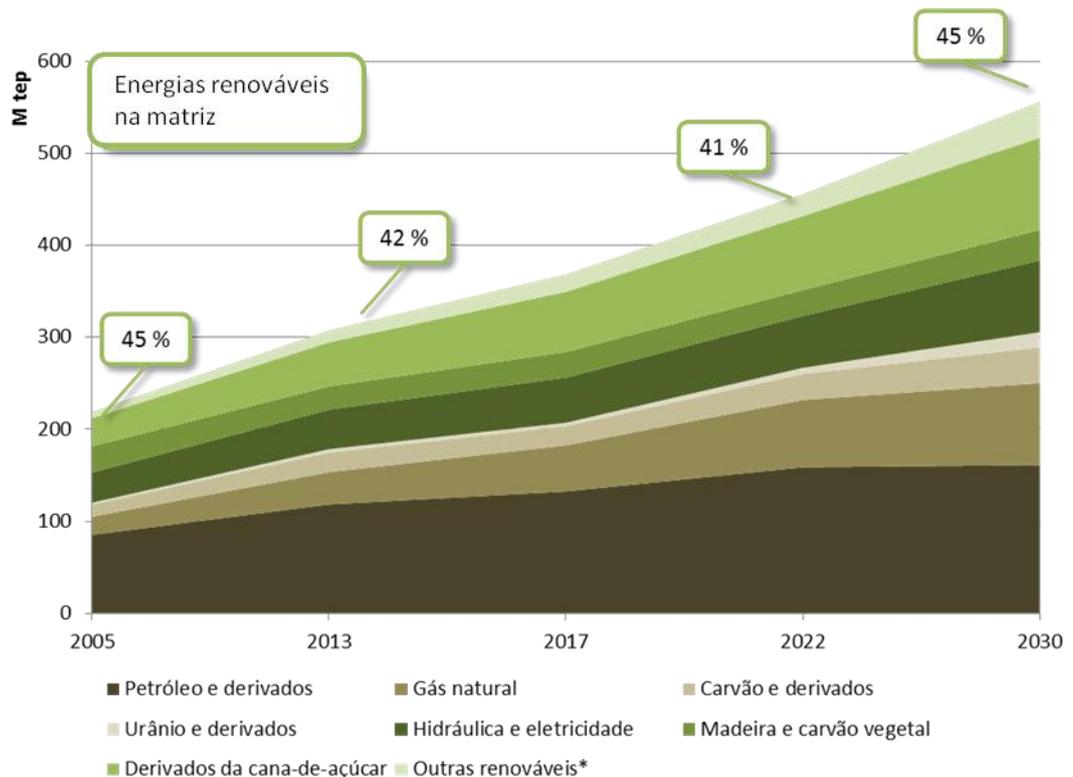


Figura 6 - Evolução da oferta energética brasileira no horizonte de 2022 e parcela das Energias renováveis no mix (Elaboração: EnvirOconsult, segundo PDE 2022 e PNE 2030)

No âmbito internacional, segundo diferentes cenários desenvolvidos pela Agência Internacional de Energia - IEA, as projeções de geração de energia para o ano de 2020 e 2035 mostram distintos aspectos de evolução da demanda de energia primária e nível de emissão de CO₂. Cada um dos cenários, observados na Tabela 2, se desenvolve a partir de diferentes suposições de preço, avanço de políticas e medidas a serem implementadas por cada um dos países, entre outros.



Tabela 2 - Energia gerada no Mundo, por fonte primária, no horizonte 2020 e 2035 para diferentes cenários
(Fonte : IEA adaptado)

			Novas políticas*		Política atuais**		Cenário 450***	
	2000	2010	2020	2035	2020	2035	2020	2035
Carvão e derivados	23,5%	27,3%	27,4%	24,5%	28,8%	29,6%	25,2%	15,8%
Petróleo e derivados	36,2%	32,3%	29,9%	27,1%	29,6%	27,1%	30,2%	24,9%
Gás Natural	20,5%	21,5%	21,9%	23,9%	21,8%	23,5%	21,7%	22,3%
Nuclear	6,7%	5,6%	6,0%	6,6%	5,8%	5,5%	6,6%	10,5%
Hidráulica	2,2%	2,3%	2,6%	2,8%	2,5%	2,5%	2,8%	3,6%
Biocombustíveis	10,2%	10,0%	10,3%	10,9%	9,8%	9,3%	11,1%	15,1%
Outras renováveis	0,6%	0,9%	2,0%	4,1%	1,7%	2,7%	2,4%	7,8%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Emissão de CO2 (Gt)	23,7	30,2	34,6	37,0	36,3	44,1	31,4	22,1

* leva em conta políticas governamentais adotadas até metade de 2012

** leva em conta políticas governamentais já adotadas e outras a serem institucionalizadas

*** cenário mais otimista que considera políticas mais amplas para o combate às mudanças climáticas

Cabe destacar que o estudo indica uma redução da parcela petróleo e derivados e um aumento do gás natural para 2035 nos três cenários avaliados, além de uma redução da parcela de carvão e derivados em dois cenários. Isso resulta, de maneira geral, na necessidade de ampliação das fontes renováveis e alternativas para suprir a demanda de energia projetada.

No Brasil, a participação das diferentes fontes da matriz de energia já está de certa forma pré-determinada para os próximos 5 anos. Esse fato é devido aos investimentos já terem sido planejados a partir dos leilões de energia que ofertaram geração de determinadas fontes em algumas localidades pré-definidas para atender a demanda prevista. A EPE, então, prorroga para os próximos 5 anos as tendências atuais na energia elétrica e se baseia em avaliações sobre as reservas de gás e de petróleo. Para a biomassa, a EPE se baseia em estudos específicos que consideram os ciclos das safras da cana-de-açúcar e a evolução do preço do açúcar.

A projeção da energia gerada no horizonte 2022 e 2030, em Mtep, pode ser verificado na Tabela 3.



Tabela 3 - Energia gerada no Brasil, por fonte, no horizonte de 2013,2022 e 2030 (Fonte: PDE 2022)

Produção em Mtep	Plano Decenal			Plano Nacional
	2013	2022	Variação anual no período	2030
Não renováveis	178	267	4.9%	306
Petróleo e derivados	118	159	3.5%	161
Gás natural	35	73	9.1%	89
Carvão e derivados	21	28	4.3%	39
Urânio e derivados	4	7	5.7%	17
Renováveis	129	188	4.7%	250
Hidráulica e eletricidade	43	56	3.2%	78
Madeira e carvão vegetal	25	28	1.5%	33
Derivados da cana-de-açúcar	48	80	6.3%	100
Outras renováveis*	13	24	8.5%	39
Total	307	455	4.8%	556

* Incluindo: eólica, óleos vegetais para produção de biodiesel e lixo (biomassa residual)

O setor elétrico brasileiro e o mercado de energia

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) opera sob concessão, autorização ou permissão do Estado provendo serviços públicos de eletricidade à população. O marco regulatório do SEB foi consolidado pela Lei 10.848/2004, onde estão estabelecidas as regras que definem o seu funcionamento, nas atividades típicas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

Segundo o Operador Nacional de Energia Elétrica (ONS), “o marco regulatório atribui ao Poder Concedente, além de suas responsabilidades típicas de Estado como a definição da matriz energética nacional, assegurar o equilíbrio oferta/demanda no curto, médio e longo prazos: para tanto reserva-lhe o planejamento e a gestão da outorga dos empreendimentos



de expansão da oferta, bem como a tomada de ações, regulamentadas, para gestão da continuidade do suprimento no curto/médio prazos”. Dessa forma, o modelo atual adotado não inclui os outros entes federados (Estados e Municípios) no planejamento e gestão do setor elétrico brasileiro.

Em termos institucionais, o novo modelo definiu a criação de uma entidade responsável pelo planejamento do setor elétrico a longo prazo, a EPE: uma instituição com a função de avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE); e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Outras alterações importantes incluem a definição do exercício do Poder Concedente ao Ministério de Minas e Energia (MME) e a ampliação da autonomia do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

O modelo define ainda que a comercialização de energia elétrica é realizada em dois ambientes de mercado, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). A contratação no ACR é formalizada através de contratos bilaterais regulados, denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR), celebrados entre Agentes Vendedores (comercializadores, geradores, produtores independentes ou autoprodutores) e Compradores (distribuidores) que participam dos leilões de compra e venda de energia elétrica.

No ACR comercializa-se a energia elétrica utilizada pelas companhias distribuidoras para atender a seus respectivos consumidores finais. A venda de energia passou a ser realizada por licitações, que consiste em leilões com contratos de longo prazo com duração de 15 a 35 anos e entrega a partir de 3 ou 5 anos, visando direcionar os contratos de energia por empresas prestadoras de serviços públicos. Esse sistema tem possibilitado uma oportunidade de crescimento para empreendimentos de geração de energia proveniente de fontes renováveis.

Já no ACL, há a livre negociação entre os Agentes Geradores, Comercializadores, Consumidores Livres, Importadores e Exportadores de energia, sendo que os acordos de compra e venda de energia são pactuados por meio de contratos bilaterais.

Desde 2004, a matriz energética brasileira se desenvolve principalmente através do sistema de *leilões*, que tem como objetivo garantir o equilíbrio na rede por um prazo determinado, graças a projetos de produção ou de linhas de transmissão. Esse sistema é coordenado e controlado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME).

Os leilões de energia elétrica foram estabelecidos pela lei n 10.848/2004, regulamentada pelo Decreto nº 5.163/2004. São promovidos diversos tipos de leilões, no intuito de que as concessionárias possam contratar com antecedência as fontes de geração que suprirão a demanda de energia elétrica. Em princípio, podem participar dos leilões fontes de qualquer natureza, porém para manter sintonia com a estratégia de desenvolvimento de fontes renováveis e a diminuição no nível de emissão de gases de efeito estufa (GEE), certos tipos



de fontes podem ser priorizados em leilões específicos, como no caso de leilões para fontes renováveis.

A maior parte dos financiamentos vem do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que possui linhas próprias para empreendimentos de geração de energia a partir de fontes alternativas. Segundo o BNDES, “essas linhas de financiamentos apresentam regras específicas de acordo com o beneficiário, segmento e/ou empreendimento/item apoiado”. Poderão ainda, serem combinadas diferentes linhas de financiamento a uma mesma operação, sendo o valor mínimo de financiamento de R\$ 10 milhões, com prazo de amortização de 16 anos. Ressaltando que a participação máxima do BNDES em empreendimentos de energia eólica é limitada a 80% dos itens financiáveis.

Esse mecanismo, além de definir o preço de venda da eletricidade na rede, define também a participação das diversas fontes de energia (hidroelétrica, nuclear, eólica, biomassa etc.). Estas são colocadas em concorrência através de leilões reversos: a ANEEL anuncia uma necessidade de energia em um horizonte de período definido (3 ou 5 anos), com um preço máximo, e os projetos que garantirem os menores preços de venda são os primeiros a receber uma parcela do mercado. Os projetos vencedores são de 2 tipos: de quantidade ou de disponibilidade.

De acordo com a Lei nº 10.848/2004, a contratação de energia pode ser feita por quantidade ou por disponibilidade. A referida lei estabelece ainda, que a contratação de energia elétrica para cobertura do consumo no ambiente regulado e para a formação de lastro de reserva deve ser feita através de leilões públicos específicos. Os leilões de compra de energia elétrica proveniente de usinas existentes e os de compra de energia de usinas novas se destinam à contratação para cobertura do consumo cativo existente e futuro, cuja demanda é declarada pelos distribuidores.

O **contrato de quantidade** é o compromisso de uma quantidade fixa de energia a ser fornecida, a um determinado preço, a partir de um prazo determinado (3 ou 5 anos). Esse é, geralmente, o tipo de contrato utilizado pelas centrais hidrelétricas. Como há certa variabilidade da energia que pode ser produzida em certo momento, um Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) foi criado entre os atores.

O **contrato de disponibilidade** prevê uma remuneração fixa, qualquer que seja a energia efetivamente vendida na rede. Esse tipo de contrato é utilizado pelas centrais térmicas e os parques eólicos, que completam a produção de base, principalmente hidrelétrica, sujeita às variações hidrológicas. Portanto, trata-se principalmente de garantir uma segurança energética. Quando esses meios de produção são mobilizados, os distribuidores devem pagar uma taxa variável, relativa ao consumo de combustível; esse custo é, em seguida, repassado para o consumidor nos reajustes tarifários.

Outros mecanismos de leilões de energia completam esse sistema, a fim de garantir um equilíbrio entre a oferta e a demanda.



Segundo a CCEE (2013), desde a implantação do atual modelo setorial (2004), os leilões de energia têm se consolidado como mecanismos eficientes para promover a expansão da geração, com foco na inclusão de fontes alternativas e renováveis na matriz elétrica brasileira, viabilizando especialmente a geração de energia eólica. Entretanto, o aumento do fator médio anual de emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional (proveniente do aumento da geração de energia por fontes fósseis), desde 2011, indica ainda a forte dependência das fontes não renováveis, principalmente em épocas de menor precipitação.

Leilões de energia em 2013

Em 2013, ocorreram 3 leilões de energia para novos meios de produção: em agosto (nº16, com horizonte de 5 anos), em novembro (nº17, com horizonte de 3 anos) e em dezembro (nº18, com horizonte de 5 anos), respectivamente (Tabela 4).

Com o 16º leilão, 10 novas usinas hidrelétricas e 9 centrais termelétricas a biomassa venceram um contrato que prevê o fornecimento de 165,23 TWh em 30 anos, equivalente a 690,8 MW, em média. O preço mais baixo atingido foi para a usina hidrelétrica de Sinop (R\$ 109/MWh; 400 MW).

Dois projetos vencedores estão localizados no estado de Minas Gerais, com potencial para gerar 7,5 TWh ao longo de sua operação:

- A pequena central hidrelétrica (PCH) de Mata Velha (24 MW, R\$ 128,99/MWh), entre 8 projetos submetidos em Minas Gerais.
- A central a biomassa Delta (40 MW, R\$ 135,31/MWh), entre 2 projetos submetidos em Minas Gerais.

Esses dois projetos representam 3% do potencial instalado do leilão nº 16, muito abaixo dos estados do Mato Grosso (32%, que inclui o potencial da barragem de Sinop - 400 MW), da Bahia (12%), do Piauí (12%) e de Mato Grosso do Sul (9%).

No 17º leilão, 39 centrais eólicas foram contratadas, totalizando 876,6 MW – um preço médio 1,23% abaixo do preço máximo de 126 R\$/MWh. Dezenove (19) projetos localizados no Rio Grande do Sul, os 20 restantes sendo divididos entre Ceará (4), Bahia (4), Pernambuco (4) e Piauí (8).



No **18º leilão**, 119 projetos foram vencidos em contratos de 25 ou 30 anos, totalizando 3.507 MW. Desse montante, 67% desses projetos são parques eólicos, que serão instalados nos estados da Bahia, Ceará, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul.

Cerca de 5% desses projetos, que representam 171 MW, serão implantados em Minas Gerais. São principalmente (82%) pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). A análise dos projetos de energia solar e termossolar é apresentada no Capítulo 2. Uma comparação dos leilões de energia pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados relativos ao 16º, 17º e 18º leilões (Fonte: EPE 2013, <http://epe.gov.br>)

Leilão de energia n°	16		17	18		
Horizonte de tempo	5 anos		3 anos	5 anos		
Potencial (MW)	1 265,5		876,6	3.507		
Preço médio (R\$/MWh)	124,97		124,45	109,93		
	Hidro 114,48	Biomassa 135,58		Hidro < 50MW 134,35	Eólica 119,03	Biomassa 133,75
Preço mínimo (R\$/MWh)	109,00 (UHE Sinop, 400 MW)		122,58 (Papagaio, BA, 18 MW)	83,49 (UHE São Manoel, 700MW)		
Energia contratada (TWh)	165,233		58,293	325,582		
Distribuição por tipo de energia	50,3% Hidro*	49,7% Biomassa	100% Eólica	29% Hidro	5% Biomassa	67% Eólica
Investimento (estimativa EPE em R\$)	5 bilhões		3,3 bilhões	35,7 bilhões		

*1 projeto de 400 MW e 16 projetos < 50 MW



Eletricidade produzida de maneira descentralizada

O modelo descentralizado é entendido como a geração de energia pelo próprio consumidor que, utilizando equipamentos de pequena escala, tem a possibilidade de suprir sua demanda e vender os excedentes.

O número de instalações de geração de energia descentralizada ainda é muito baixa no Brasil. Até janeiro de 2014, existiam apenas trinta e oito (38) empreendimentos dessa tipologia instalados⁴.

Diferentemente de outros países, o Brasil não dispõe ainda de mecanismos que regulem a compra de energia diretamente de pequenos produtores com sistema interligado a rede. Entretanto, dispõe de mecanismos de compensação, desde abril de 2012, definido pela resolução normativa 482 da ANEEL.

Esse mecanismo é válido para qualquer sistema de geração de energia renovável (hidroelétrica, solar, eólica, biomassa, cogeração⁵) com uma potência inferior a 1 MW. A energia produzida não consumida no local é injetada na rede e gera créditos (kWh a um determinado preço) com validade de 36 meses. O crédito é automaticamente consumido quando a produção local não satisfaz a demanda do produtor.

A normatização da ANEEL incentiva os consumidores a se tornarem produtores, pois esses créditos, conquistados com a produção de energia através de painéis fotovoltaicos, pequenas torres eólicas, mini centrais hidrelétricas etc., ajudam o consumidor a se tornar autossuficiente ou reduzir consideravelmente o valor de sua conta de luz. Essa condição é válida para pessoas físicas e jurídicas. Uma empresa pode, por exemplo, se beneficiar de créditos gerados em suas filiais.

⁴ <http://economia.ig.com.br/2014-01-03/brasil-tem-38-consumidores-que-geram-sua-propria-energia-eletrica.html>

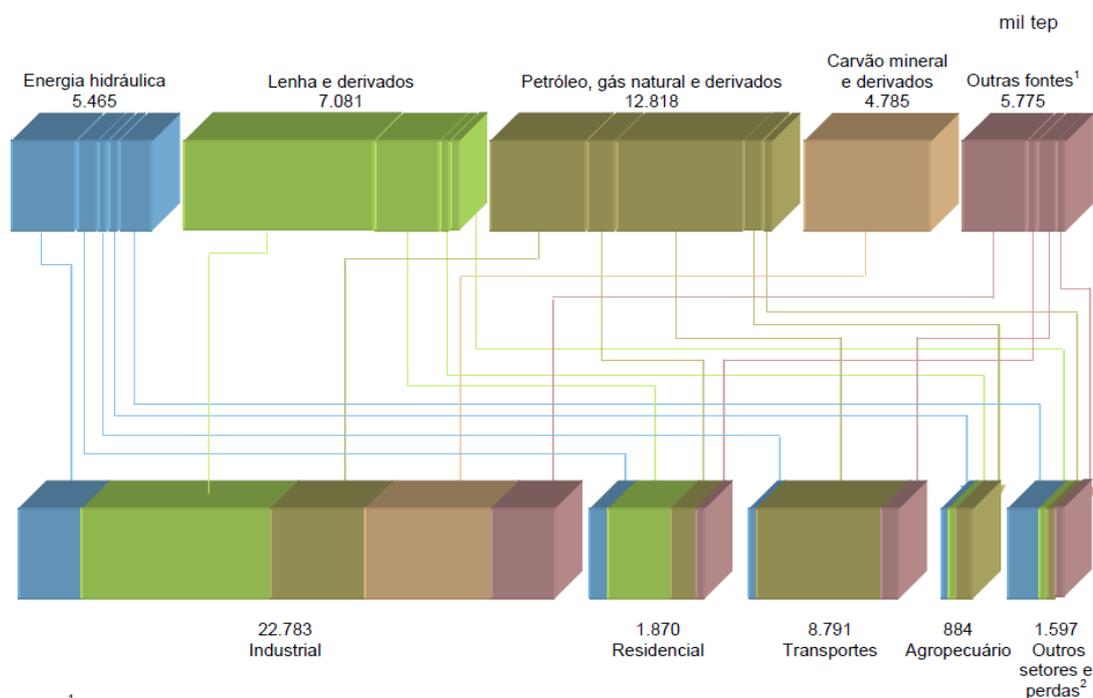
⁵ Como definido por lei.



Contexto Mineiro

A demanda energética em Minas Gerais

Em 2011, de acordo com o 27º Balanço Energético do estado de Minas Gerais (BEEMG 2012), a demanda energética primária de Minas Gerais chegou a 35,9 Mtep, ou seja, o equivalente a 13,1% da demanda brasileira total.⁶ No período 1978-2011, essa demanda aumentou em média 2,5% por ano. No mesmo período, a taxa era de 2,9% para o Brasil. A demanda energética em Minas Gerais está estruturada conforme visto na Figura 7.



¹ Outras fontes: cana-de-açúcar, licor negro, resíduos de biomassa industriais e agrícolas, oleaginosas e biodiesel

² Setores Comercial e Público e Perdas na Distribuição e Armazenagem.

Figura 7 - Distribuição da demanda energética em Minas Gerais por setor e por tipo (segundo BEEMG 2012)

O setor industrial representa 63,4% do consumo de energia primária, com decréscimo de 0,6% em relação a 2010. O consumo industrial de 22.783 Mtep se divide em lenha e derivados (28,4%), energia hidráulica (13,4%), carvão mineral e derivados (21%), petróleo, gás natural e derivados (17,8%), derivados de cana-de-açúcar (16,8%) e outras fontes (2,6%).

⁶ 26º Balanço Energético do estado de Minas Gerais, CEMIG, 2011.



É interessante observar que 91,4% da energia proveniente de lenha e derivados foi consumido pelo setor industrial, sendo o restante dividido entre os setores residencial, agropecuário, comercial e público e perdas. O setor industrial consumiu cerca de 37% mais energia que em 2000.

O setor de transportes é o segundo maior consumidor de energia em Minas Gerais, com 8.791 Mtep, sendo 53% representado pelo diesel e 25% pela gasolina (antes da mistura com o etanol). Esse setor consumiu cerca de 67% a mais de energia em relação ao ano de 2000. O setor de transporte também consumiu 86,6% de biodiesel no estado.

A oferta energética em Minas Gerais

Minas Gerais importou o equivalente a 60,1% da demanda de energia de seu território em 2010, ou seja, 21,6 Mtep (Figura 8). Esse desequilíbrio estrutural se deve, sobretudo, às importações de carvão mineral e de petróleo e derivados, o que sinaliza uma dependência de energias fósseis não produzidas internamente e uma alta vulnerabilidade energética (disponibilidade dos recursos e preços internacionais).

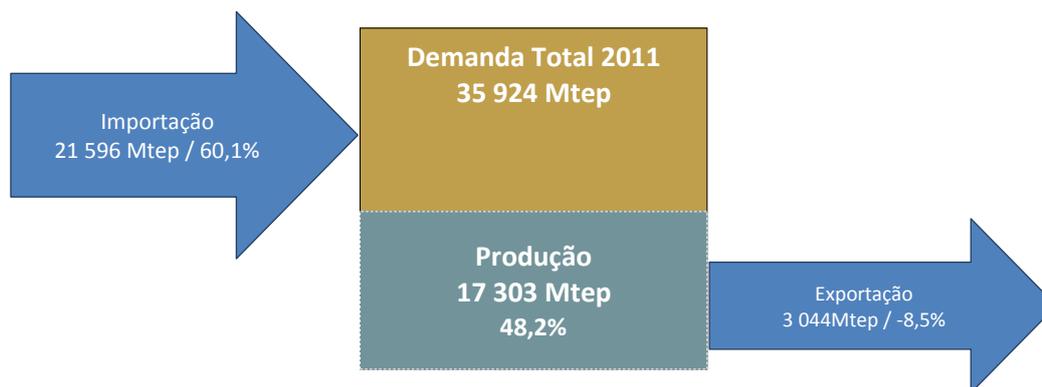


Figura 8 - Balanço Energético de Minas Gerais em 2011 (segundo BEEMG 2012, op.cit.)

Como as energias primárias fósseis (carvão, gás, petróleo) são importadas, o total da produção energética primária do território é de origem renovável e está dividido da seguinte maneira, conforme pode ser observado na Figura 9.

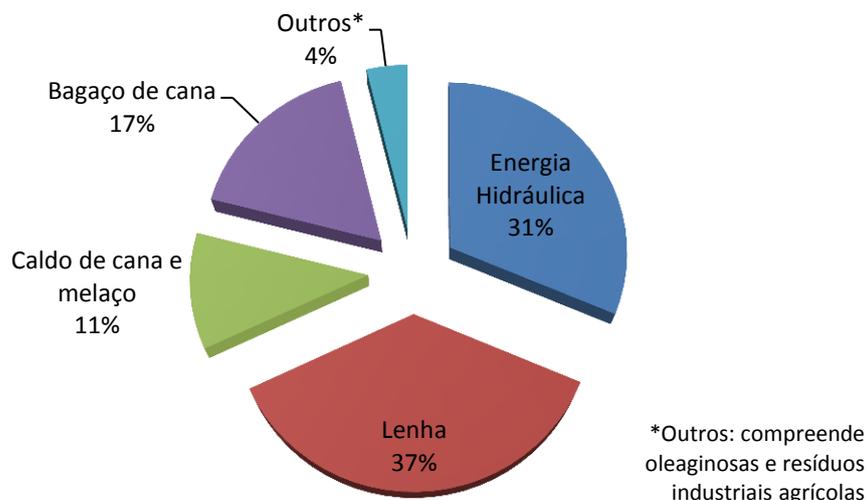


Figura 9 - Distribuição por fonte da produção energética primária em Minas Gerais (conforme BEEMG 2012, op.cit.)

O território de Minas Gerais comporta, além disso, muitas refinarias, que transformam petróleo bruto (importado), oleaginosos, caldo e melaço de cana-de-açúcar (produzidos no território), dentre outros, em combustíveis consumidos ou exportados.

A evolução das fontes de energia em Minas Gerais no horizonte de 2030

Em 2007, as Universidades Federais do Rio de Janeiro (UFRJ) e de Itajubá (UNIFEI) fizeram um estudo sobre a evolução da matriz energética mineira no horizonte de 2030 segundo diferentes cenários⁷.

A elaboração desses cenários apresenta premissas acerca dos dados econômicos, tecnológicos e setoriais estruturantes e uma modelagem da evolução dos sistemas considerados. Observa-se que o modelo de simulação utilizado busca a satisfação da demanda energética, minimizando os custos de operação e manutenção (modelo de otimização).

Dois cenários foram elaborados: um **cenário de referência**, que mantém a hegemonia das atividades de siderurgia e metalurgia na economia, e um **cenário alternativo**, no qual a economia mineira se desenvolve em setores de maior valor agregado, com uma maior penetração das tecnologias de eficiência energética (indicados pela Figura 10).

⁷ <http://www.conselhos.mg.gov.br/coner/page/publicacoes/matriz-energtica-de-mg>



No cenário de referência, o consumo de energia final aumenta a uma taxa média de 4,03% por ano e chega a 67 Mtep. No cenário alternativo, essa taxa é de 3,42% e o total final é de 58 Mtep em 2030.

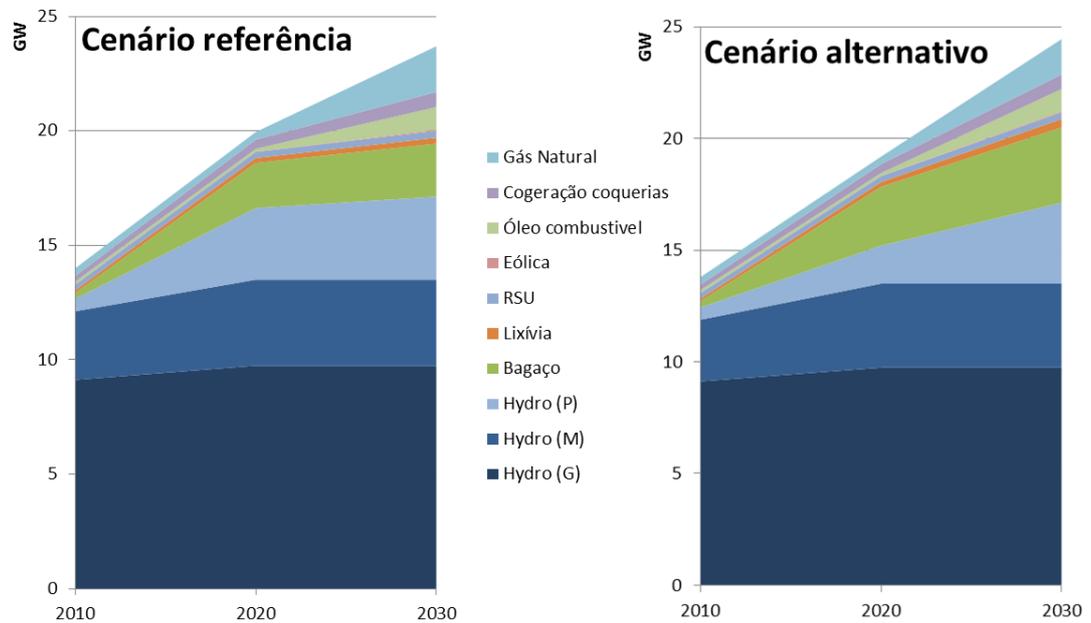


Figura 10 - Evolução da oferta energética em Minas Gerais em função de 2 cenários (conforme Matriz Energética de Minas Gerais 2007 a 2030, op. cit.)

Nos dois cenários, Minas Gerais se tornaria um importador líquido de eletricidade, mas esse valor é menor no cenário alternativo. Neste, Minas Gerais seria importador líquido de 8% em 2030, contra 17% na projeção de referência. Isso se explica por uma demanda menor de eletricidade (maior penetração das tecnologias energeticamente eficientes) e uma maior disponibilidade de bagaço para a geração de eletricidade. Como consequência da adoção destas práticas estudadas pelo cenário alternativo, a demanda de gás natural não aumentaria.

Uma maior disponibilidade de bagaço para gerar eletricidade é considerada crucial, considerando-se a escassez dos recursos hidrelétricos. Dessa forma, a capacidade de produção de cana-de-açúcar do estado é uma variável importante, devido à sua ligação com os outros setores do sistema energético. O etanol seria o principal produto energético exportado em 2030, caso ele supere as barreiras logísticas identificadas.

Em 2013, a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) publicou estudo sobre a evolução da matriz energética mineira no horizonte até 2030 e as emissões de gases de efeito estufa



decorrentes a partir de uma metodologia de sistemas dinâmicos⁸. Adicionalmente foram estimados os custos das intervenções simuladas nos diferentes cenários.

Dois cenários foram considerados, o chamado cenário de referência ou BAU (*business-as-usual*) com poucas mudanças no perfil energético do estado e um cenário alternativo chamado de RIC (*reduction of carbon intensity*) com maior número de ações que buscam mitigar as emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, modificar o perfil energético do estado.

Os principais resultados do estudo podem ser vistos na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Resultados dos cenários definidos (Fonte: *Energy scenarios for the Minas Gerais State in Brazil: an integrated modeling exercise using System Dynamics*)

Variável	BAU	RIC
Potência instalada (MW)	21 mil	25 mil
Produção de energia (MWh/ano)	121 milhões	131 milhões
Demanda de energia (MWh/ano)	131 milhões	127 milhões
Importação (MWh/ano)	10 milhões	-4 milhões
Demanda de petróleo (toneladas/ano)	18 milhões	14 milhões
Empregabilidade no setor de energia (número de empregos diretos)	10 mil	14 mil
Custos evitados (US\$)	-	46 bilhões
Renda adicional (US\$)	2,8 bilhões	4,4 bilhões
Custo líquido total acumulado (US\$)	316 bilhões	350 bilhões

Ressalta-se que o estudo apresenta estimativas da evolução da oferta e demanda de energia, emissões de gases de efeito estufa associadas, custos e geração de empregos com base em premissas socioeconômicas e políticas e, portanto, devem ser interpretadas com cautela devido às incertezas inerentes à modelagem. Entretanto, os resultados demonstram a magnitude dos esforços necessários e as oportunidades a serem exploradas para garantir a segurança energética e redução das emissões de gases de efeito estufa no estado.

⁸ Energy scenarios for the Minas Gerais State in Brazil: an integrated modeling exercise using System Dynamics, http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2013/energy_scenarios_for_the_minas_gerais_state.pdf



As iniciativas de ação do Estado

Em função do modelo energético centralizado em vigor no Brasil, os governos subnacionais dispõem de poucas ferramentas para ampliar e desenvolver suas fontes de energia renováveis. O governo federal tem um controle muito forte sobre a matriz energética brasileira por meio do sistema de *leilões* e do planejamento como um todo. Nesse contexto de atuação restrita, praticamente resta ao Estado de Minas Gerais trabalhar para tornar mais competitivos os projetos de energia renovável em seu território e buscar dialogar com o Governo Federal para ampliar a participação dos governos locais na tomada de decisão relacionada ao sistema energético, que afeta a todos os entes da federação. Com relação à competitividade, por exemplo, destaca-se a possibilidade de alteração na tributação (como fez o estado da Bahia) e o apoio no desenvolvimento dos projetos e captação de investimentos para o setor (como já faz o INDI - Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais).

Este relatório e a fase participativa do PEMC buscam identificar as medidas fiscais e regulamentares, as melhorias logísticas, as reestruturações dos órgãos públicos, as parcerias, as competências a serem adquiridas, entre outras oportunidades que permitiriam diminuir o consumo final de energia, mas também os custos de produção e de distribuição de projetos de energias renováveis no território, criando também empregos “verdes” e investimentos no setor energético.

Exemplos de outros estados

Um dos maiores polos eólicos do Nordeste, a Bahia vem apostando na energia a partir dos ventos. O Estado decidiu montar grupos de trabalho, responsáveis pelas questões logísticas e na atração de empresas para o estado. Os investimentos em duas unidades de aerogeradores já totalizaram R\$ 100 milhões.

A fim de estimular os investimentos no setor, o governo baiano pretende também manter incentivos fiscais para a implantação dos parques eólicos no estado. A iniciativa prevê a redução de até 81% de ICMS para a aquisição de componentes de fornecedores do próprio estado. Do total de projetos licenciados, 1,5 GW já estão contratados, quando 4,5 GW deverão disputar os próximos leilões.⁹

Com o intuito de promover e incentivar a produção e o consumo de energia de fontes renováveis, o Estado de Minas lançou, em agosto de 2013, o Decreto nº 46296, que dispõe

⁹ Energia eólica, anuário 2012, p96



sobre a criação do Programa Mineiro de Energia Renovável (PMER) e de medidas para incentivo à produção e uso de energia renovável. Para tanto, o Decreto determina parâmetros para a concessão de incentivos fiscais e tratamento diferenciado aos empreendimentos localizados em Minas Gerais, na forma de legislação tributária, nos seguintes casos:

- I – Na produção de peças, partes, componentes e ferramentais utilizados na geração de Energia Renovável.
- II – No material a ser utilizado como insumo nas obras de construção civil necessárias aos empreendimentos de geração de Energia Renovável.
- III – Na infraestrutura de conexão e de transmissão que se faça necessária aos empreendimentos geradores de Energia Renovável para sua interligação no Sistema Interligado Nacional.
- IV – No fornecimento da energia elétrica produzida a partir de usinas geradoras de energia de fonte solar, eólica, biogás, biomassa de reflorestamento, biomassa de resíduos urbanos, biomassa de resíduos animais ou hidráulica de Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGHs, por um prazo de 15 (quinze) anos a contar da data de sua entrada em operação.

Dispõe ainda, sobre linha de financiamento específica e tratamento prioritário aos empreendimentos de geração de energia de fontes renováveis, conforme disposto no artigo 4º:

- I - nas solicitações de acesso ao sistema.
- II - nos processos de regularização ambiental.
- III - na celebração de contratos de compra de energia.



Capítulo 1 - A energia eólica

A energia eólica é a transformação de energia potencial extraída dos ventos em energia útil, e é utilizada pelo homem desde a antiguidade em embarcações e moinhos. Atualmente produz-se energia elétrica através de sistemas descentralizados e grandes parques eólicos. A energia do vento é consistente em longos períodos, mas geralmente apresenta variações significativas em curtas escalas de tempo.

Hoje, países como China, Estados Unidos e Alemanha são líderes no desenvolvimento e aplicação da tecnologia para extração dessa energia. O Brasil é líder de produção de energia na América Latina a partir dessa fonte, com forte potencial para crescimento sustentável, caso investimentos robustos sejam ampliados. Atualmente, conforme dados do último leilão de energia (2º Leilão A-5/2013), a energia eólica apresenta-se como a fonte de energia com menor valor por MWh (119,03 R\$/MWh)¹⁰, perdendo apenas para usina hidrelétrica de São Manoel. Além disso, foi o maior número de projetos contratados (97 de um total de 119).

Parques eólicos

Contexto

Considera-se, neste relatório, as turbinas eólicas do tipo aerogeradores, ou seja, que produzam eletricidade a partir da cinética do vento.

Uma turbina eólica moderna e de grande porte (Figura 11) é, na grande parte dos casos, constituída por um rotor com três pás movido pela energia do vento e conectado a um sistema de geração instalado em uma nacela. A nacela é montada no topo de uma torre, o que coloca o rotor a uma altura suficiente para possibilitar seu movimento. A nacela abriga os principais componentes mecânicos, pneumáticos, elétricos e eletrônicos necessários para o funcionamento da máquina. Em geral, a torre abriga, também, uma parte dos componentes elétricos e eletrônicos.

Os aerogeradores são beneficiados atualmente por um desenvolvimento tecnológico dinâmico: a tendência mundial é de aumento progressivo das dimensões e da capacidade da turbinas. As turbinas eólicas com uma capacidade de até 3.000 kW são consideradas tecnologicamente consolidadas, dada a quantidade de unidades em operação no mundo.

¹⁰ Informe à imprensa. EPE (http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20131213_1.pdf)

O aumento das dimensões das turbinas possibilita a redução do diâmetro dos rotores, que variam entre 40 e 126 m no mercado atual, resultando em rotações que vão de 30 a 15 rpm (rotações por minuto).

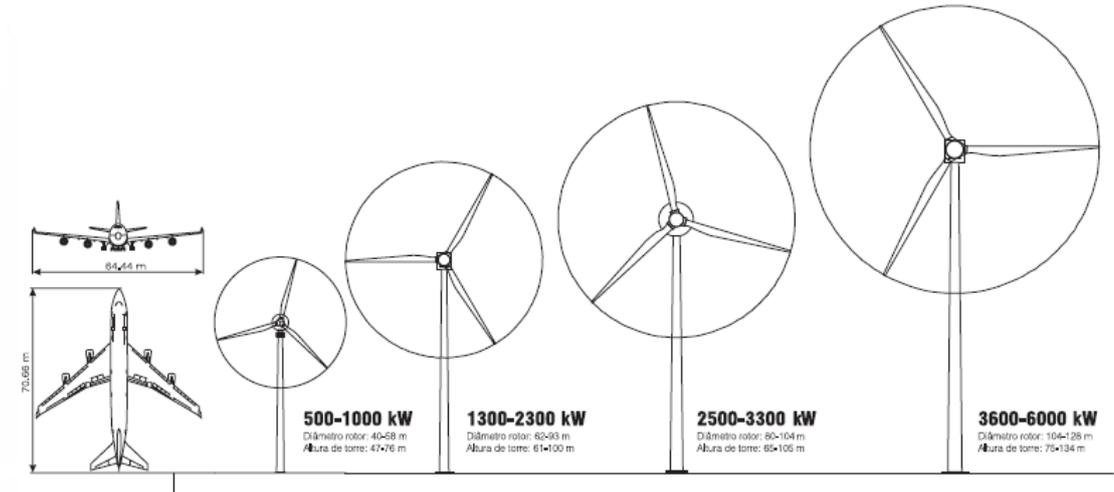


Figura 11 - Dimensões clássicas das turbinas eólicas disponíveis no mercado atual, comparadas às dimensões de um Boeing 747 (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG).

O fator de capacidade é definido pela razão entre a produção efetiva da usina em um período de tempo e a capacidade total máxima neste mesmo período. É um fator adimensional que vai de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, mais eficiente a usina é na geração de energia. O histórico do fator de capacidade pode ser visto na Figura 12.

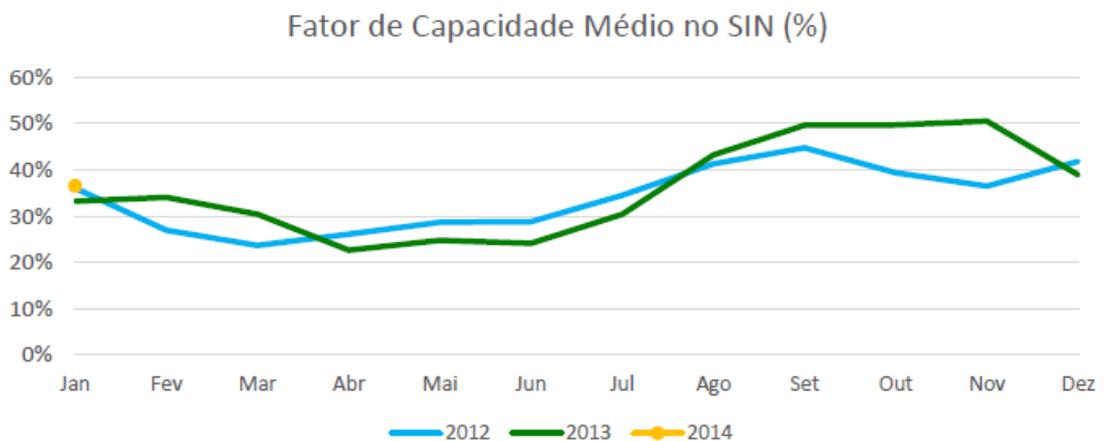


Figura 12 - Histórico do fator de capacidade médio em periodicidade mensal nos últimos 3 anos (Fonte: ONS)

Um parque eólico é um conjunto de turbinas eólicas dispostas de maneira adequada na mesma área. A geração eólica é possível a partir de velocidades de vento de 2,5 a 3 m/s. Velocidades superiores a 12-15 m/s desencadeiam o sistema automático de limitação de

potência da máquina, enquanto ventos superiores a 25m/s desencadeiam o sistema automático de proteção.

A exploração da energia eólica requer grandes superfícies de instalação e velocidades anuais que viabilizem a instalação dos parques. No Brasil, as áreas com maior potencial eólico encontram-se nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste conforme visto na Figura 14.

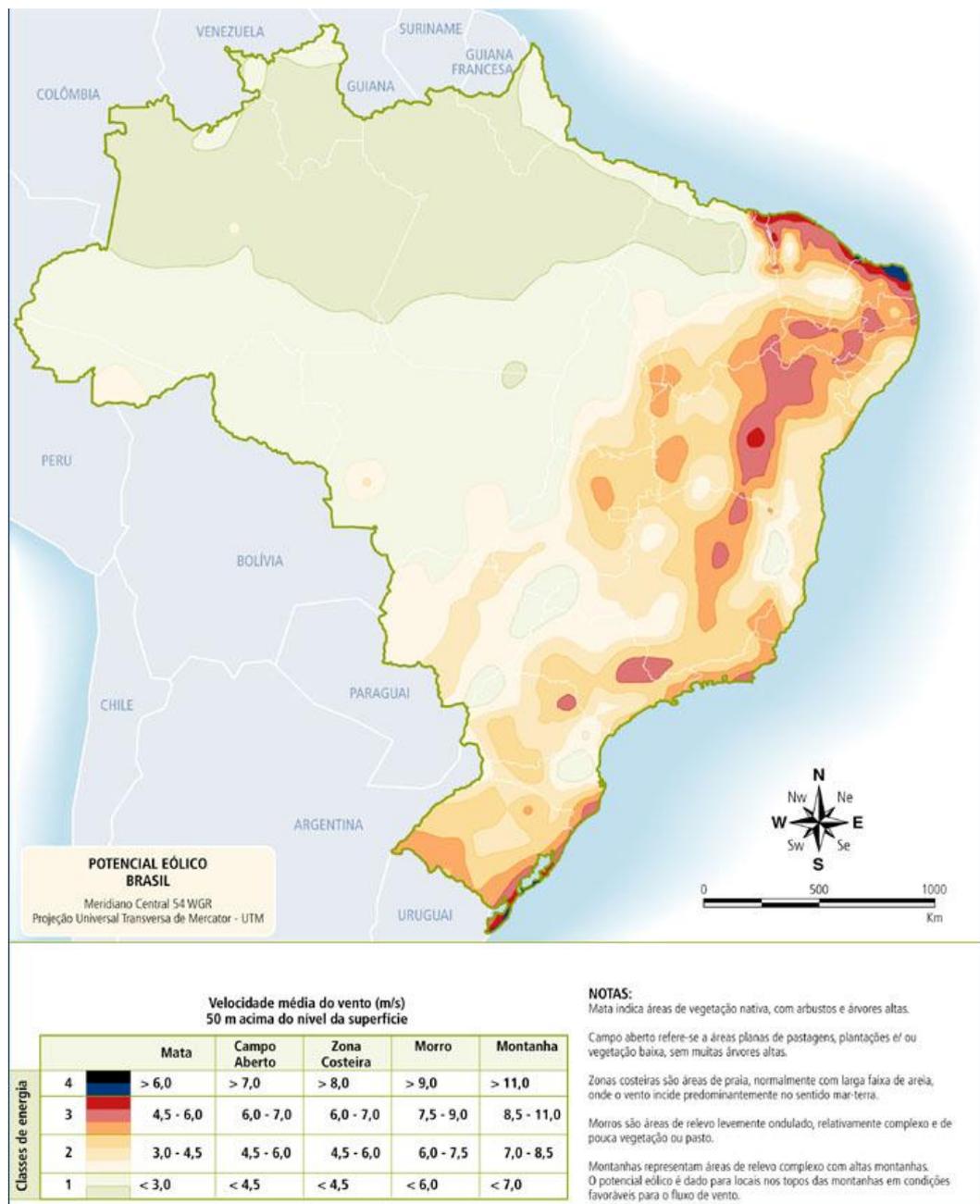


Figura 13 – Potencial eólico brasileiro a 50 m de altura (m/s) (Fonte: Atlas de Energia Elétrica, 2ª Edição, ANEEL)



Nota-se que uma importante área de Minas Gerais apresenta relevante potencial a ser explorado.

Inventário de parques eólicos em Minas Gerais

Não existem, atualmente, grandes instalações eólicas registradas no estado de Minas Gerais. Um parque, localizado no Morro do Camelinho município de Gouveia (região central do estado), foi construído em 1994 contendo 4 aerogeradores de 250 kW cada um, totalizando 1 MW (Figura 14). Esse parque, de caráter experimental, pertence à CEMIG e foi o primeiro parque eólico conectado ao sistema elétrico integrado.



Figura 14 - Parque eólico experimental de Morro do Camelinho (Fonte: CEMIG)

Além disso, o estado conta atualmente com três projetos de parques eólicos registrados e aguardando obtenção das licenças necessárias para instalação nos seguintes municípios: Lagoa Santa, Gouveia e Belo Horizonte¹¹. Observa-se, finalmente, que levando em consideração os prazos do sistema de leilões, Minas Gerais não deverá ter parques eólicos antes de 2018.

¹¹ Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2013

Potencial de geração de energia

Potencial teórico

O potencial teórico representa o limite máximo do que pode ser produzido a partir do vento, sem considerar nenhuma restrição para seu uso. Para sua obtenção, seria necessário conhecer detalhadamente o regime de vento em todo o território estadual, a diferentes alturas, a ser transformado sem perdas.

O Atlas Eólico de Minas Gerais, publicado pela CEMIG em 2010, apresenta um potencial eólico considerando diversos aspectos e barreiras técnicas para diversas regiões do território. A cartografia do potencial eólico é obtida a partir de um modelo digital (MesoMap, Mesoscale Atmospheric Simulation System – MASS e WindMap), utilizando como banco de dados os mapas digitais de relevo e rugosidade, assim como dados do vento.

Os dados de vento foram fornecidos a partir de medidas realizadas nos 51 locais distribuídos por todo o território e que constituem o Sistema de Telemetria e Monitoramento Hidrometeorológico (STH) da CEMIG. Os dados de rugosidade foram obtidos a partir de uma análise dos mosaicos de imagens de satélite Landsat 7. Os dados topográficos são provenientes do modelo Shuttle Radar Topography Mission – SRTM versão 4.0 que permite uma resolução espacial de 200 m x 200 m. A Figura 15 exhibe o potencial eólico a 50 m de altura definido pela CEMIG.

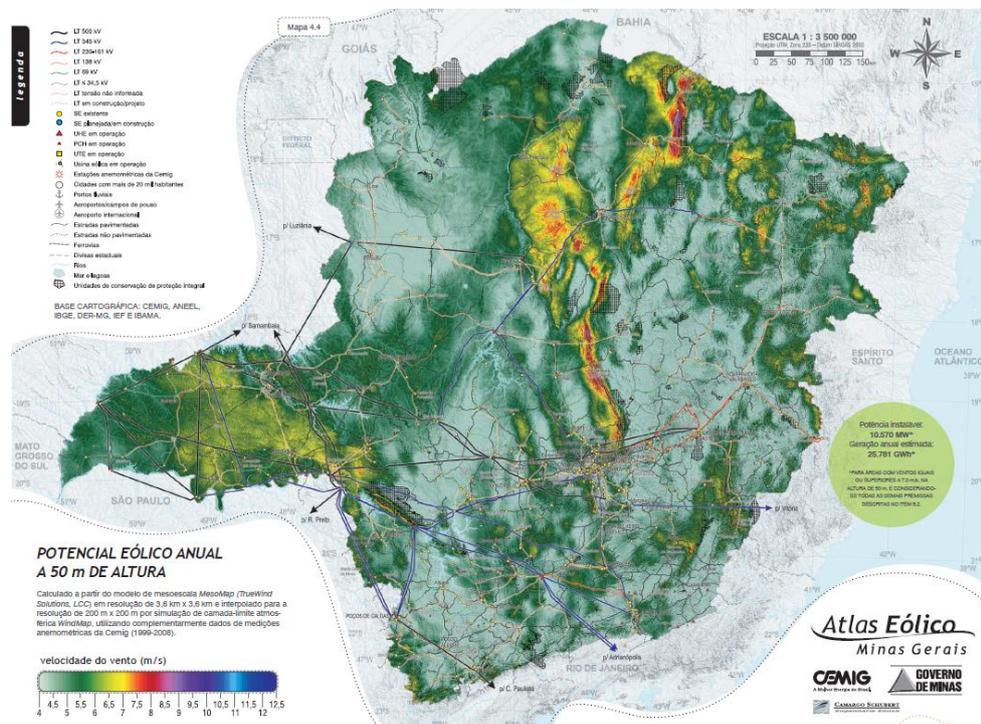


Figura 15 - Potencial eólico de Minas Gerais a 50 m de altura (m/s) (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG).

Embora o estudo forneça uma visão ampla e bastante representativa das diversas regiões do estado e estimativas dos potenciais (técnicos), não foi possível avaliar o potencial teórico através dos dados publicados pela CEMIG.

Potencial técnico

Para fins desta avaliação, utiliza-se as estimativas disponibilizadas pelo Atlas Eólico de Minas Gerais publicado pela CEMIG considerando a potência, a capacidade de geração das tecnologias atuais e algumas barreiras técnicas (sociais, ambientais e tecnológicas) existentes. De maneira complementar, são consideradas também as experiências atuais e empreendimentos de geração de energia em fase de planejamento, instalação e operação.

Em nível nacional, o planejamento energético prevê um grande crescimento da geração de energia eólica nos próximos anos. Em 2012, a EPE havia habilitado mais de 600 parques eólicos no território, com uma potência instalada de quase 1.800 MW (1,5% da capacidade elétrica nacional total instalada). Desses 600 parques, 450 se situavam na região Nordeste do Brasil e 150 na região Sul (Figura 16). A capacidade instalada total prevista para 2022 pelo Governo Federal é de quase 17.500 MW, ou seja, 9,5% da capacidade elétrica nacional total instalada nesse horizonte.¹²

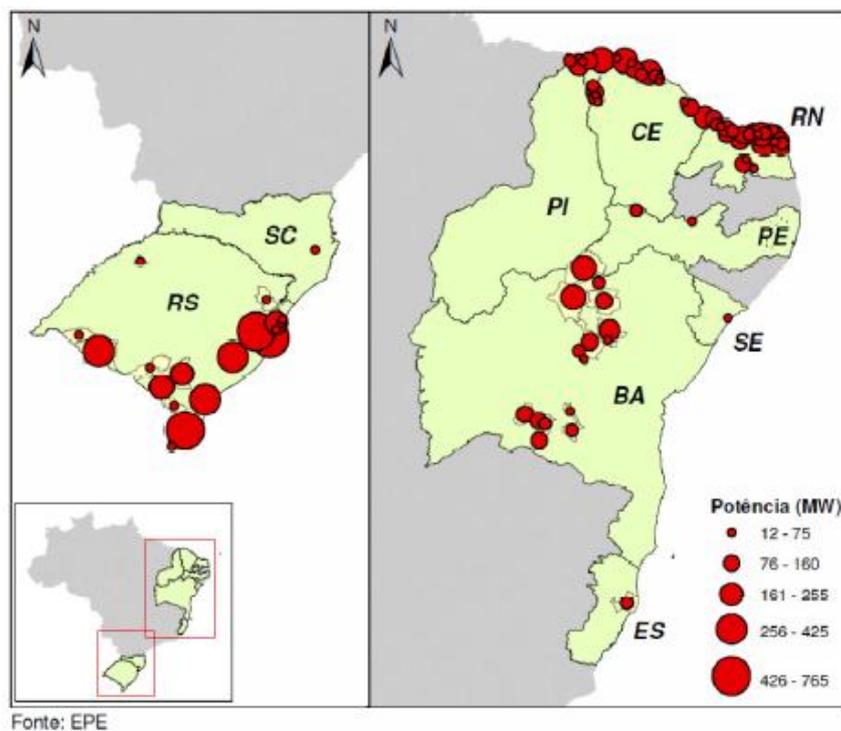


Figura 16 - Parques eólicos habilitados pela EPE desde 2009 por município (Fonte: PDE 2021)

¹² Plano Decenal de Energia 2021 e Plano Decenal de Energia 2022



A EPE define que para aferição segura dos dados de velocidade dos ventos, os parques eólicos a serem instalados necessitam de medições feitas por estações anemométricas durante todo o período de vigência do contrato e estas mesmas devem ser realizadas à diferentes alturas até o limite mínimo de 50 metros⁹. No modelo da CEMIG, as velocidades do vento foram estimadas através de modelos computacionais e com medições feita com anemômetros a alturas relativas do solo variando entre 10 e 30 metros.

Entretanto, o estudo considerou alguns critérios para aprimorar a análise do potencial, especialmente a existência de **áreas protegidas** (ex: *Unidades de Conservação de Proteção Integral*) que não foram contabilizadas no cálculo do potencial total. Além disso, somente as áreas com uma velocidade média anual superior a 6,0 m/s foram selecionadas. Uma síntese do potencial eólico de Minas Gerais é apresentada na Tabela 6 seguinte.

Tabela 6 - Potencial eólico de Minas Gerais (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG)

POTENCIAL DE GERAÇÃO EÓLICA									
INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADE						INTEGRAÇÃO CUMULATIVA			
ALTURA [m]	VENTO [m/s]	ÁREA [km²]	POTÊNCIA INSTALÁVEL [MW]	FATOR DE CAPACIDADE	ENERGIA ANUAL [GWh]	VENTO [m/s]	ÁREA [km²]	POTÊNCIA INSTALÁVEL [MW]	ENERGIA ANUAL [GWh]
100	6,0 - 6,5	58.096	87.144	0,172	131.461	≥ 6,0	121.511	182.266	326.360
	6,5 - 7,0	37.386	56.080	0,210	102.823	≥ 6,5	63.415	95.123	194.899
	7,0 - 7,5	15.384	23.076	0,246	49.789	≥ 7,0	26.029	39.043	92.076
	7,5 - 8,0	6.887	10.331	0,284	25.673	≥ 7,5	10.645	15.967	42.287
	8,0 - 8,5	2.403	3.604	0,318	10.040	≥ 8,0	3.757	5.636	16.615
	≥ 8,5	1.355	2.032	0,369	6.575	≥ 8,5	1.355	2.032	6.575
75	6,0 - 6,5	50.647	75.971	0,172	114.876	≥ 6,0	93.685	140.528	245.317
	6,5 - 7,0	26.543	39.814	0,209	72.630	≥ 6,5	43.038	64.557	130.441
	7,0 - 7,5	10.329	15.493	0,247	33.461	≥ 7,0	16.495	24.742	57.812
	7,5 - 8,0	4.110	6.165	0,282	15.250	≥ 7,5	6.166	9.249	24.351
	8,0 - 8,5	1.255	1.883	0,318	5.242	≥ 8,0	2.056	3.084	9.101
	≥ 8,5	801	1.201	0,367	3.589	≥ 8,5	801	1.201	3.859
50	6,0 - 6,5	35.344	53.016	0,186	86.295	≥ 6,0	55.228	82.841	149.798
	6,5 - 7,0	12.837	19.256	0,223	37.722	≥ 6,5	19.884	29.825	63.503
	7,0 - 7,5	4.812	7.218	0,261	16.501	≥ 7,0	7.046	10.570	25.781
	7,5 - 8,0	1.411	2.117	0,298	5.522	≥ 7,5	2.235	3.352	9.280
	8,0 - 8,5	544	816	0,333	2.378	≥ 8,0	823	1.235	3.757
	≥ 8,5	279	419	0,376	1.379	≥ 8,5	279	419	1.379

Dessa forma, considerando as estimativas de áreas com velocidade maior ou igual a 6m/s, o potencial estimado seria de **721 TWh/ano**, o que representaria 11 vezes a produção de energia hidráulica no estado em 2011.

O Atlas traz ainda um maior detalhamento nas regiões com velocidade maior ou igual a 7 m/s por terem maior capacidade de geração de energia.



A integração acumulada dos potenciais identificados mostra um potencial estimado de **10,6 GW** de potência instalada a 50 m para áreas em que as velocidades médias anuais do vento são superiores a 7,0 m/s, que se traduz em uma geração elétrica anual de 25,8 TWh. O potencial é de **24,7 GW a 75 m** e **39,0 GW a 100 m** (e a geração elétrica associada é de 57,8 TWh e 92,1 TWh). Considerando as estimativas de áreas com velocidade maior ou igual a 7 m/s, o potencial estimado diminui cerca de **176 TWh/ano**.

É importante destacar que os novos parques possuem um fator de capacidade maior, elevando significativamente o potencial de energia recuperável¹³.

Áreas mais favoráveis

Além do potencial identificado anteriormente, o estudo realizado pela CEMIG propõe uma avaliação mais detalhada em **quatro áreas definidas como tecnicamente favoráveis** para a instalação de aerogeradores, considerando-se os três principais fatores restritivos para o desenvolvimento desses projetos:

- A proximidade dos parques eólicos aos principais centros de consumo de energia;
- A existência de infraestruturas de transporte;
- A proximidade das principais linhas de transmissão e distribuição elétrica.

A integração desses elementos permite aprimorar a análise anterior. A Figura 17 ilustra as quatro áreas identificadas e analisadas detalhadamente pelo seu potencial técnico.

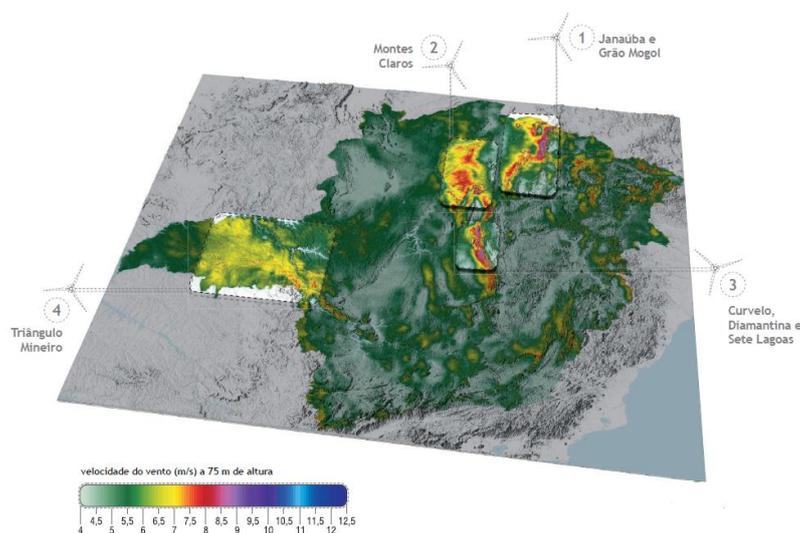
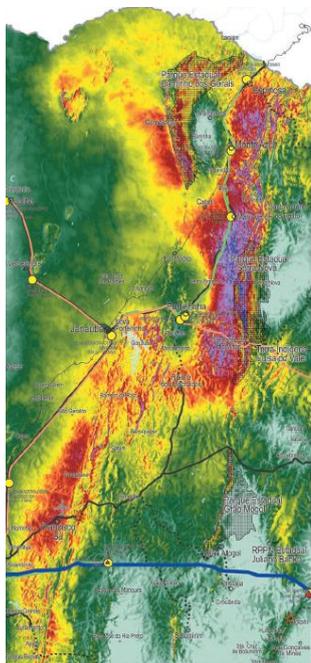


Figura 17 - Áreas favoráveis para o desenvolvimento de parques eólicos (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG).

¹³ Utilização da Energia Eólica no Estado de Minas Gerais : Aspectos técnicos e o meio ambiente. Comunicado técnico nº 2 (http://www.feam.br/images/stories/materia/comunicado_tecnico2_gemuc.pdf)



Foco na área de Janaúba e Grão Mogol



Localizada na região Norte de Minas Gerais, essa área agrupa uma parte da Serra do Espinhaço e do Vale do Rio Verde Grande.

Os seguintes municípios têm maior potencial: Espinosa, Gameleiras, Monte Azul, Matos Verde, Porteirinha, Serranópolis de Minas, Riacho dos Machados e Francisco Sá.

A velocidade média é de 7,5 m/s a 75 m de altura, o que se traduz em um grande potencial nessa área.

Os principais acessos dão-se pelas rodovias MG-401, MG-120, BR-122 e BR-251. Já as principais linhas de transmissão são: Montes Claros 2 – Janaúba (138kV); Janaúba – Salinas (138 kV); Porteirinha – Monte Azul (69 kV); e Montes Claros 2 – Irapé (345 kV).

Os principais centros de consumo são os municípios de Janaúba (65.000 habitantes), Jaíba (30.000 habitantes) e Espinosa (31.000 habitantes), com um consumo de energia elétrica de 68 GWh, 77 GWh e 17,2 GWh, respectivamente.



Foco na área de Montes Claros

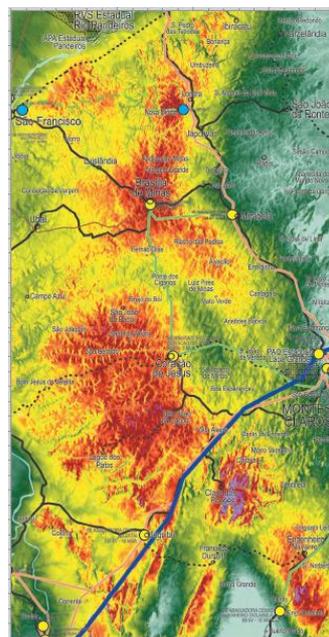
Localizada na região Norte de Minas Gerais, essa área é caracterizada por um relevo mais suave, destacando-se a chapada do rio São Francisco.

Os seguintes municípios apresentam o maior potencial: Coração de Jesus, São João da Lagoa e Brasília de Minas.

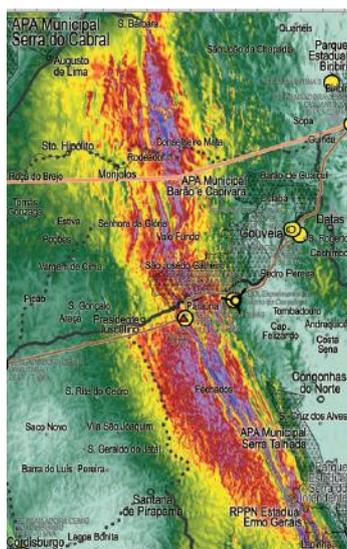
As velocidades médias variam de 7,0 m/s a 8,0 m/s a 75 m de altura, gerando um relevante potencial nessa área.

A região tem acesso pelas rodovias MG-145, MG-402, MG-202, BR-251 e BR-365. As linhas de transmissão Montes Claros 2 — Mirabela (138 kV), Pirapora 1 — Montes Claros 1 (138 kV) e Mirabela — Brasília de Minas (69 kV), entre outras alimentam os consumidores da região.

Os principais centros de consumo são os municípios de Montes Claros (352.000 habitantes) e Januária (65.000), com um consumo de energia elétrica de 381 GWh e 35 GWh, respectivamente.



Foco na área de Curvelo, Diamantina e Sete Lagoas



Localizada na região Central de Minas Gerais, essa pequena área apresenta espaços com grande potencial eólico próximo a Unidades de Conservação, nos relevos mais elevados e também em algumas depressões a oeste da serra do Cipó.

É nessa área que se encontra o parque experimental do Morro de Camelinho.

A região é atravessada por linhas de transmissão de 138 kV e 34,5 kV e pelas rodovias BR-259, BR-367 e MG-220.

Os principais centros de consumo (ainda que situados fora dos limites do mapa) são os municípios de Diamantina (44.000 habitantes) e Curvelo (72.000 habitantes), com um consumo de energia elétrica de 39 GWh e 78 GWh, respectivamente.



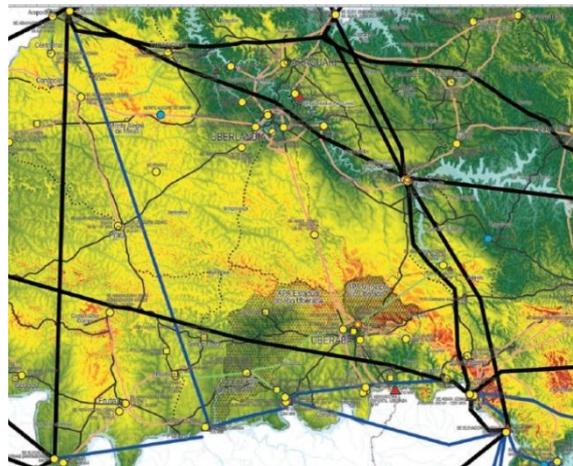
Foco na área do Triângulo Mineiro

A região do Triângulo Mineiro tem ventos médios anuais inferiores às regiões citadas anteriormente (velocidades médias superiores a 7,0 m/s a 100 m de altura), mas tem outras vantagens importantes para o desenvolvimento da energia eólica.

O relevo particularmente pouco montanhoso e as superfícies amplas podem, por exemplo, facilitar a montagem das turbinas e reduzir os custos de acesso. Essa é também uma região com infraestruturas privilegiadas, que já possui muitas usinas hidrelétricas e centrais termelétricas a biomassa implantadas.

Os acessos à região são diversos e as linhas de transmissão que passam pela região são de 69 kV, 138 kV, 345 KV e 500 kV.

A região também é economicamente muito dinâmica com comércio diversificado (PIB per capita superior a R\$ 16.000,00). Os principais centros de consumo são os municípios de Uberlândia (608.000 habitantes) e Uberaba (288.000 habitantes), com um consumo de energia elétrica de 919 GWh e 472 GWh, respectivamente.



Potencial econômico

Apesar de ter um grande potencial técnico, a geração de energia elétrica eólica ainda não decolou em Minas Gerais. Em um contexto nacional recente de abertura de concorrência dos projetos energéticos, o potencial eólico mineiro tem se mostrado aparentemente menos atrativo quando comparado a outros estados do Nordeste e ao Rio Grande do Sul. O fato de nenhum projeto eólico de Minas Gerais ter sido submetido aos leilões de energia até agora comprova essa afirmação e revela que os investidores tem optado por áreas com maior potencial (áreas mais favoráveis tecnicamente) ou têm percebido menos incentivos em relação aos outros estados.

Entre os fatores da baixa competitividade desse tipo de energia em Minas Gerais até o momento, observa-se especialmente uma velocidade menor dos ventos, que obriga à construção de torres mais elevadas e, portanto, mais caras; ou, ainda, a localização de uma grande parte do potencial em áreas que aparentemente são mais delicadas para a instalação



de infraestruturas, por exemplo, as regiões montanhosas do Norte.¹⁴ Os custos de aquisição resultantes dessas limitações são, então, muito elevados para enfrentar a concorrência de outros estados e outras energias, por exemplo, a hidroeletricidade.

Esses fatores não demonstram necessariamente que a parcela do potencial técnico que é economicamente rentável é menor em Minas Gerais, e sim, que há atualmente uma preferência por outras áreas fora do estado. Situação esta que pode ser revertida quando da saturação das áreas mais favoráveis fora do estado ou mesmo a implementação dos incentivos previstos no Programa Mineiro de Energias Renováveis.

Os últimos leilões nacionais para a geração de energia elétrica revelaram preços de compra de energia eólica variando entre R\$ 85 e R\$ 125 /MWh (algumas vezes abaixo dos preços médios de centrais hidrelétricas).

A título de ilustração, o leilão nacional de reserva nº 05/2013 (leilão de energia de reserva eólica) permitiu a entrada de 66 projetos de geração eólica no mercado em 2013, com uma capacidade total de 1.505,2 MW que deve ser instalada a partir de setembro de 2015. O preço médio de aquisição dos projetos é de 110,51 R\$/MWh, ou seja, uma queda de 5,55% em relação ao preço inicial de 117,00 R\$/MWh. A maioria dos projetos foi vencida pelos estados da Bahia e do Piauí, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Resultado final do Leilão de Energia de Reserva A5 de 2013 (Fonte: EPE 2013)

Estados	Projetos contratados	Potência instalada (MW)	Garantia Física (MW médios)	Preço médio (R\$/MWh)
Bahia	28	567,8	247,6	107,04
Ceará	6	113,2	48,5	115,9
Pernambuco	7	191,7	94,7	116
Piauí	14	420	224,3	109,97
Rio Grande do Norte	7	132	58	111,82
Rio Grande do Sul	4	80,5	27,6	114,93
TOTAL	66	1.505,2	700,7	110,51

O leilão A3 de 2013 havia permitido a habilitação de 39 projetos com uma capacidade instalada de 867,6 MW e um preço médio de R\$ 124,43 /MWh.

¹⁴ Entrevista CEMIG, 2 de outubro de 2013.



Já o leilão A5-2012 havia permitido a entrada no mercado de 10 parques eólicos, com uma potência instalada de 281,9 MW e um preço médio de R\$ 87,94/MWh. Diante deste cenário de preços, podemos verificar que os preços de empreendimentos eólicos já demonstram claramente a viabilidade econômica dessa fonte de energia no Brasil.

Barreiras e restrições

Apesar de ser uma fonte renovável e considerada “limpa”, os empreendimentos eólicos devem considerar os impactos ambientais durante a fase de instalação e operação. Os principais impactos estão sintetizados na Tabela 8.¹⁵

Tabela 8 - Impactos ambientais e socioeconômicos identificados pela FEAM a respeito das parques eólicos (Fonte: Utilização de Energia Eólica em Minas Gerais – Aspectos Técnicos e o Meio Ambiente, Comunicado Técnico nº2, GEMUC/DPED/FEAM, fevereiro de 2013)

TEMA	PARÂMETROS
Impactos sobre o meio biótico	Supressão da vegetação Ameaça e perturbação da fauna
Impactos sobre o meio físico	Degradação das áreas de implantação Alteração do nível hidrostático dos lençóis freáticos
Impactos socioeconômicos	Emissão de ruídos Impacto visual Interferência eletromagnética Efeito estroboscópico Incômodo gerado pelas obras

Questões relacionadas à percepção da paisagem pela população local (impacto visual proporcionado pela presença das torres) e a presença de áreas de relevante interesse ecológico (unidades de conservação) também podem ser elementos restritivos à expansão dos parques eólicos.

Além disso, a energia eólica está ligada a limitações de distribuição na rede elétrica. Essas limitações são, especialmente, as dificuldades as vezes encontradas para a conexão dos locais de produção à rede elétrica, assim como as eventuais dificuldades ligadas à variabilidade dessa fonte de energia. Dessa forma, a energia eólica é extremamente variável no tempo (em função das variações da velocidade do vento), o que impõe dificuldades para a

¹⁵ www.feam.br/images/stories/materia/comunicado_tecnico2_gemuc.pdf



gestão e planejamento do sistema integrado. É necessário, portanto, que a rede esteja preparada para essa variabilidade, especialmente com reservas de capacidade disponíveis.

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

Instalações eólicas descentralizadas

Contexto

O modelo descentralizado é entendido como a geração de energia pelo próprio consumidor que, utilizando equipamentos de pequena escala, tem a possibilidade de suprir sua demanda e vender os excedentes. Os sistemas eólicos descentralizados ainda não foram alvo de investimentos significativos e experiências comerciais até o momento. Mesmo após a promulgação de novas regras¹⁶ destinadas a reduzir barreiras para instalação de geração distribuída de pequeno porte, que incluem a microgeração, com até 100 kW de potência, e a minigeração, de 100 kW a 1 MW pela ANEEL, são poucos os empreendimentos desse tipo para geração eólica. Dessa forma, a discussão desta tecnologia deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre pequenas instalações em Minas Gerais. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão deste relatório após o fim do processo participativo.

Inventário de instalações eólicas descentralizadas em Minas Gerais

Atualmente, a usina Clóvis Ferreira Minare é o único sistema eólico comercial descentralizado em funcionamento em Minas Gerais. Situada no município de Iturama (região Triângulo), ela opera com uma potência total de 156 kW.¹⁷

¹⁶ Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012

¹⁷ BIG - Banco de Informações de Geração, ANEEL,

<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Empreendimento/ResumoUsina.asp?lboxUsina=31018:Cl%F3vis%20Ferreira%20Minare>



Potencial de geração de energia

Potencial teórico

O potencial teórico de pequenas instalações eólicas é avaliado da mesma maneira que grandes parques eólicos, entretanto é importante ressaltar que as instalações descentralizadas têm torres com dimensões menores (em comparação aos grandes parques) e precisam de um regime de vento diferenciado.

A discussão do potencial teórico deverá ser complementada 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

A discussão do potencial técnico deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre pequenas 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

A discussão do potencial econômico deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre pequenas 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

A identificação e discussão das barreiras e restrições ocorrerá durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre pequenas instalações eólicas de Minas Gerais e outras possíveis localidades.



Capítulo 2 - A energia solar

A energia solar é aquela proveniente do Sol aproveitada através da conversão em energia térmica ou elétrica. O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito através de coletores ou concentradores solares, sendo o primeiro mais comumente usado no Brasil. Já o aproveitamento para geração elétrica é feita através de semicondutores, aonde os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica.

A radiação solar é a maior fonte de energia para o sistema terrestre, sendo o principal elemento meteorológico e um dos fatores determinantes do tempo e do clima. Além disso, afeta diversos processos: físicos (aquecimento/evaporação), biofísicos (transpiração) e biológicos (fotossíntese).

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução). A duração solar do dia varia, em algumas regiões e períodos do ano, de zero hora (Sol abaixo da linha do horizonte durante o dia todo) a 24 horas (Sol sempre acima da linha do horizonte) (ANEEL, 2002).

Usinas solares fotovoltaicas

Contexto

As usinas solares fotovoltaicas são centrais de energia compostas por uma configuração de painéis solares fotovoltaicos que convertem a energia da radiação em eletricidade através de cada uma das células fotovoltaicas. Os raios diretos e difusos do sol são transformados em eletricidade por meio de materiais semicondutores (como o silício, muito presente na natureza).

A potência de um módulo fotovoltaico é expressa em Watt-pico (Wp), unidade que descreve a potência efetiva em condições de teste padronizadas. Um módulo fotovoltaico de 1 kWp corresponde a uma superfície de 7 a 15 m². Considerando a eficiência de um módulo fotovoltaico policristalino de 15% e a radiação solar média recebida em Minas Gerais



variando entre 4,5 a 6,5 kWh/m²¹⁸, a produção anual de um módulo fotovoltaico chega a aproximadamente 246 kWh/m²/ano e 355 kWh/m²/ano.

Para se medir a potência da radiação solar incidente sobre uma superfície utiliza-se com frequência a unidade de potência elétrica (Watt) por unidade de área desta superfície. Nos limites da atmosfera terrestre esta potência é de 1.353 W/m² para uma superfície perpendicular a esta radiação, reduzindo-se para 1.000 W/m² ao nível do solo em dia claro e sem nuvens com o Sol a pino.

Entretanto, para avaliar o potencial de uma região para aproveitamento da energia solar é necessário trabalhar com unidades de energia (e não de potência) que levam em conta as variações diárias e sazonais da radiação incidente. A unidade deve expressar a quantidade total de energia que chega a superfície de 1 m² a cada dia (ou a cada ano). Este valor é usualmente dado em kWh/m²/dia (ou kWh/m²/ano). Outra forma muito utilizada para expressar o nível de energia solar incidente em um local é o número médio de horas de sol máximo.

Os módulos fotovoltaicos são montados em quadros, sobre suportes fixos ou giratórios. Esses suportes são presos ao solo de maneiras diversas, por exemplo, com o auxílio de estacas ou vigas de concreto.

As instalações solares são silenciosas, tem vida útil longa (entre 20 e 30 anos) e podem servir para abastecimento *on grid* (ligado a rede de distribuição) ou *off grid* (por meio de armazenamento em baterias).

Inventário de usinas solares fotovoltaicas em Minas Gerais

A única usina solar em território estadual é a que está instalada no estádio Governador Magalhães Pinto, conhecido como Mineirão (Figura 18). A estrutura, instalada com participação da CEMIG, tem potência instalada de 1,42 MWp, com cerca de 6.000 módulos fotovoltaicos. A quantidade de energia gerada é equivalente ao atendimento anual de até 900 residências¹⁹. Além do Mineirão, outros projetos estão sendo desenvolvidos no estádio Mineirinho e no Aeroporto Internacional Tancredo Neves em Confins.

¹⁸ Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, CEMIG

¹⁹ América do Sol, <http://www.americadosol.org/mineirao-solar/>



Figura 18 - Exemplo de central fotovoltaica no Estádio Magalhães Pinto (Mineirão) em Belo Horizonte (Fonte: Renato Cobucci/Imprensa MG/Divulgação - Sites UAI)

Potencial de geração de energia

Potencial teórico

O tempo de insolação do território e os dados meteorológicos constituem o potencial bruto do setor de energia solar. Esses dados são utilizados diretamente para a avaliação da capacidade de produção das instalações solares térmicas e fotovoltaicas.

Os valores de tempo de insolação de Minas Gerais são provenientes de uma base de dados disponível no Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, publicado em 2012 pela CEMIG, em parceria com a ANEEL. Esses valores foram calculados a partir de levantamentos de estações solarimétricas distribuídas por todo o território e que pertencem a diferentes órgãos (CEMIG, INMET, INPE) e também a partir de levantamentos feitos por satélites.

A Figura 19 mostra o tempo médio de insolação em Minas Gerais que possibilita a determinação da radiação solar média anual que vai de 4,5 a 6,5 kWh/m².dia, com valores máximos observados no norte do estado e valores mínimos no sudeste (média anual que não apresenta as eventuais variações sazonais). Cerca de metade do território tem uma radiação solar média favorável à instalação de central solar, ou seja, apresenta uma média diária entre 5,5 e 6,5 kWh/m².dia.

No âmbito do Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, a avaliação simultânea de diversos critérios como a radiação solar direta, a declividade, a disponibilidade dos recursos hídricos, a existência de áreas protegidas e a acessibilidade das linhas de transmissão permitiu à CEMIG definir seis (6) áreas prioritárias para o desenvolvimento de usinas solares, como indica a Figura 20.

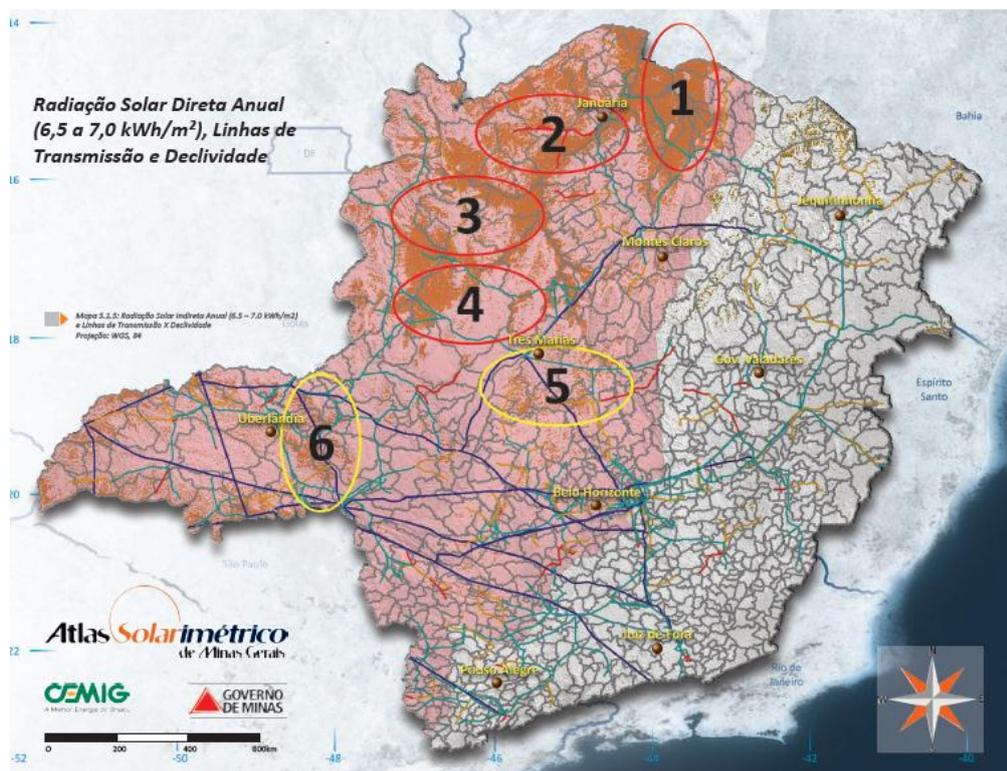


Figura 20 - Identificação de áreas favoráveis ao desenvolvimento de usinas solares com energia solar (Fonte: Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, CEMIG)

Propõe-se aqui uma síntese das principais características dessas áreas conforme verificado na Tabela 9 (ano de referência: 2010).

Tabela 9 - Características das 6 áreas "favoráveis" à implantação de usinas solares no solo (Fonte: EnvirOconsult a partir do Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, CEMIG)

ÁREA	HABITANTES	CONSUMO DE ELETRICIDADE RESIDENCIAL (GWh/ano)	SUPERFÍCIE (km ²)
Minas Gerais	19.597.330	8.454	586.522
1. Janaúba	247.487	107	15.155



2. Janaúria	274.092	118	33.168
3. Unai	148.800	64	27.384
3-4. Pirapora	164.903	71	23.072
4. Paracatu	217.618	94	34.997
5. Curvelo	150.701	65	13.749
5. Três Marias	96.800	42	10.509
6. Patrocínio	197.700	85	11.980
6. Araxá	204.142	88	14.103
Total "Áreas favoráveis"	1.702.513	734	184.118

As áreas identificadas no Atlas representam 31% da superfície do estado, mas somente 9% da população; trata-se, em uma primeira abordagem, de áreas muito pouco urbanizadas e industrializadas, o que se traduz em um consumo de eletricidade predominante no setor residencial. Mesmo se a instalação de painéis fosse feita em apenas 0,1% das áreas identificadas, o potencial técnico ainda seria de **65 TWh** (considerando uma radiação de 6,5 kWh/m².dia)

A Microrregião de Janaúba apresenta-se como a **área mais favorável** ao desenvolvimento de usinas solares, considerando a radiação solar direta entre 2.200 e 2.400 kWh/m².ano. Localizada no norte do estado, a região contabilizava quase 250.000 habitantes em 2010, com um consumo elétrico anual (todos os setores de atividade) de 240 GWh. Além disso, a ausência de unidades de conservação de proteção integral, uma baixa concorrência com as atividades agrícolas atualmente e a pequena declividade do terreno reforçam o posicionamento técnico favorável dessa região.

Alem disso, Minas Gerais já registra licenças prévias para 8 usinas solares fotovoltaicas, que ainda não obtiveram sucesso nos leilões nacionais de energia (Tabela 10). Dessa forma, em uma primeira abordagem, a estimativa do **potencial técnico já estabelecido** pode ser representado pela soma das potências instaladas desses empreendimentos (**340 MW**).



Tabela 10 - Usinas solares fotovoltaicas com licenças prévias em Minas Gerais (Fonte: SIAM 2013)

EMPREENDIMENTO	POTÊNCIA (MW)	MUNICÍPIO
Parque Solar Jaiba	80	Jaíba
Parque Solar Caprochosa	80	Jaíba
Cemig Geração e Transmissão SA	30	Vazante
Salgueiro Serviços Administrativos Ltda	30	Vazante
Sevilha Serviços Administrativos Ltda	30	Verdelândia
Campina Serviços Administrativos Ltda	30	Itacarambi
Pilos Serviços Administrativos Ltda	30	Jaíba
Sanny Serviços Administrativos Ltda	30	Itacarambi
TOTAL	340 MW	

Com relação às áreas "degradadas" ou "contaminadas", essas podem ser alvos de avaliações específicas visando complementar o potencial técnico. Uma **área degradada** sofreu, em graus variáveis, perturbações de natureza física, química ou biológica. Esse é o caso, por exemplo, das antigas pedreiras e mineradoras. Uma **área contaminada** contém uma quantidade ou concentração de substâncias ou resíduos (de maneira natural ou não) que pode afetar a saúde humana e o meio ambiente. Esse é o caso, por exemplo, dos antigos lixões. Sob certas condições devidamente controladas, essas áreas poderiam ser estudadas quanto à viabilidade de receberem usinas solares.

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

Potencial econômico

Apesar dos grandes valores estimados nas avaliações dos potenciais teórico e técnico para a implantação de usinas solares, esses empreendimentos ainda **não estão se desenvolvendo** plenamente em Minas Gerais, mesmo com a inscrição de inúmeros projetos nos últimos leilões de energia.

O **custo de produção** relativo às usinas solares, quando comparado às outras fontes, aparece como a **principal obstáculo** para o desenvolvimento dessa fonte de energia. Esses custos de produção acarretariam uma tarifa média da eletricidade proveniente da energia solar muito



mais elevada que os custos das outras energias, como ilustrado na Tabela 11, elaborada pela CEMIG.

Tabela 11 - Tarifa média por fonte de energia em R\$/MWh (Fonte: CEMIG, op. cit.)

Fonte	Tarifa Média (R\$/MWh)
Hidráulica	102,00
Biomassas	102,41
Gás natural	103,27
Eólica	99,58
Solar fotovoltaica	400,00 – 600,00

O leilão A3-2013, cujo objetivo era aumentar a capacidade de geração a partir de 2016, recebeu um grande número de inscrições de empresas de energia eólica e solar, com 109 projetos fotovoltaicos e 10 projetos heliotérmicos (para um total de 784 projetos), representando uma oferta total de 2.729 MW e 290 MW respectivamente.

O maior número de projetos de energia solar foi apresentado pelo estado da Bahia, com 72 projetos fotovoltaicos e 8 projetos heliotérmicos. Minas Gerais está na segunda posição, com 11 projetos fotovoltaicos, para um total de 325 MW.

O leilão de 18 de dezembro de 2013 registrou um total de 687 projetos em âmbito nacional, com uma capacidade de produção total de 21.130 MW. A energia solar participou ativamente desse leilão, com o registro de 88 projetos fotovoltaicos para um total de 2.024 MW e 7 projetos heliotérmicos para um total de 201 MW, sem sucesso.

Entre as usinas de Minas Gerais registradas nos leilões nacionais de energia solar, nenhuma foi vencedora em 2013.

Deve-se observar também que, em 2011, um leilão P&D estratégico dedicado à inserção da produção solar fotovoltaica na matriz energética brasileira havia recebido a participação de 100 projetos, entre os quais 18 haviam sido aprovados pela ANEEL. Dos 18 projetos, 13 tiveram continuidade, mas apenas 1 dos 13 projetos está efetivamente em operação hoje, em Campinas. Os outros projetos estão ainda em fase de planejamento ou de compra de



material. Um dos projetos selecionados era da CEMIG: um projeto de 8,3 milhões de reais para uma capacidade instalada de 0,5 MWp.²⁰

Considerando uma irradiação média de cerca de 4,16 kWh/m²/dia no plano inclinado, a Tabela 12 apresenta custos de implantação para usinas de potência de 100, 500, 1.000 e 30.000 kW²¹. É interessante ressaltar que os demais custos de implantação como projeto elétrico, cabearios, transformadores, custo de instalação, foram baseados no valor de investimento de módulos e inversores que variam de 25% até 35%, dependendo do caso.

Tabela 12 - Custo de implantação de uma usina solar fotovoltaica (Fonte: FEAM 2013, op.cit)

Potência (kW)	100	500	1.000	30.000
Nº de módulos de 240 Wp	462	2.309	4.618	138.542
Nº de inversores 12 kW	8	41	83	2.500
Custo – R\$	520.553,36	2.633.200,54	5.296.834,84	159.209.382,58
Emissões Evitadas (tCO2)	268	1.338	2.676	80.207
kgCO2 evitado /R\$ investido	0,514	0,508	0,505	0,504

Barreiras e restrições

Ainda que o Brasil seja um dos maiores produtores de silício no mundo, a indústria nacional não produz um silício puro o bastante para o setor solar. O país se vê atualmente, então, obrigado a importar painéis a preços elevados, o que desencoraja investimentos. Outro fator importante a ser considerado é o custo elevado da tecnologia em relação às outras fontes de energia e a tributação do setor.

A falta de incentivos específicos comparativamente também pode ser apontado como uma barreira. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criado em 2004, não inclui, por exemplo, a energia solar.²²

²⁰ Análise de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo: estudo de caso dos projetos da Chamada Estratégica Nº13 da ANEEL; Tese, Davi Lopes

²¹ Usina solar fotovoltaica em consórcio com reabilitação de áreas degradadas, Barbosa et al., FEAM 2013

²² *Challenges to insert photovoltaic solar energy in the Brazilian electric matrix*, op. cit.

Outra importante barreira está ligada a área total necessária para a implantação de uma usina solar (e os custos associados), que compreende a superfície dos módulos e também das vias de acesso, das dependências etc. Uma central solar precisa de uma superfície relativamente grande, de **1 a 4 hectares por MW** dependendo da tecnologia utilizada.

Do ponto de vista topográfico, o terreno deve apresentar uma **declividade muito pequena** (inferior a 3%)²³ mas permitindo, contudo, uma drenagem natural em caso de precipitações.

Enfim, a **estabilidade do terreno** é um fator determinante para avaliar a qualidade da área, pois o risco de deslizamentos de terreno, inundação e ventos violentos pode danificar muito uma central solar.

As questões ambientais devem ser também investigadas por meio de um estudo de impacto detalhado. Assim sendo, as unidades de conservação (unidades de proteção integral e unidades de uso sustentável) e as terras indígenas não se mostram aptas para receber usinas solares. O estado de Minas Gerais possui 294 unidades de conservação (Figura 21), que cobrem uma área de quase 3 milhões de hectares.

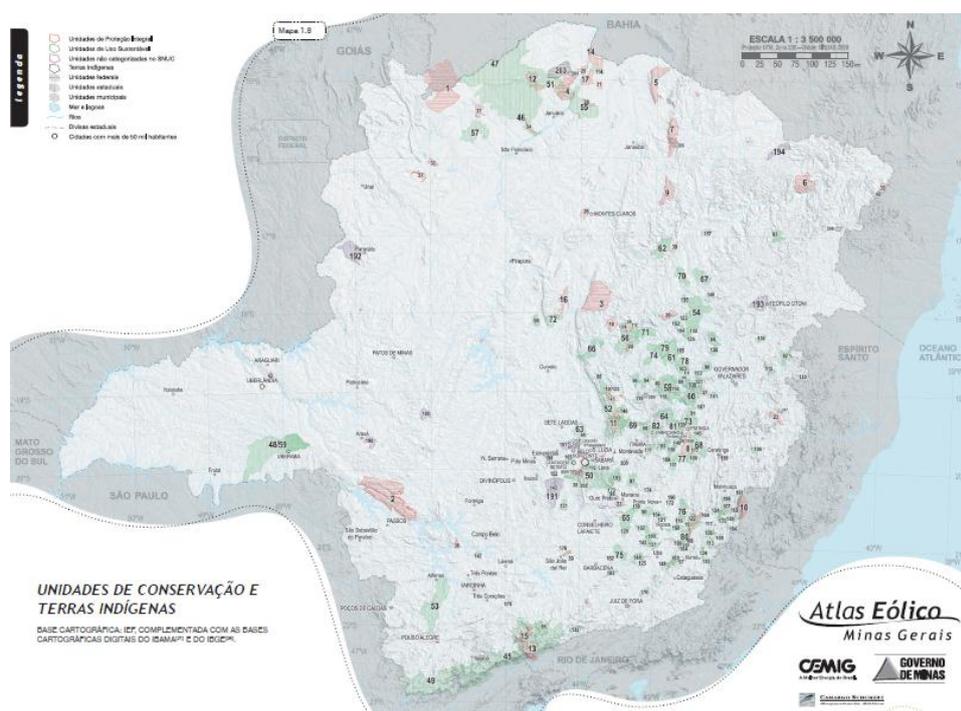


Figura 21 - Unidades de conservação e terras indígenas em Minas Gerais (Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais, CEMIG)

²³ Atlas Solarimétrico de Minas Gerais



O estado é também um território particularmente arborizado. A vegetação nativa cobre entre 33 e 34% do território e as florestas plantadas ocupam 2,5% do território.²⁴ Contudo, a implantação de usinas solares em áreas florestadas ou arborizadas que depende de desmate não representa uma alternativa viável em função da perda de biodiversidade e da diminuição dos estoques de carbono terrestres.

Minas Gerais dispõe de uma grande superfície de terras agrícolas: de 58,8 milhões de hectares, 30% são pastagens dedicadas principalmente à pecuária extensiva. O cultivo de grãos ocupa 4,8% do território, o de café 1,7% e o de soja 1,4%.

Ainda que grande parte das superfícies agrícolas, especialmente as pastagens degradadas, sejam compatíveis tecnicamente, a priori, com a implantação de usinas solares, a inutilização do potencial agrônomo e a competição “energia-produção de alimentos” deve ser devidamente avaliada.

Contudo, entre essas terras, é possível encontrar as que não são atualmente cultivadas. As áreas degradadas e não cultivadas podem ser priorizadas, por exemplo, para restauro ambiental (com geração de créditos de carbono, inclusive). Porém, podem existir áreas com baixo potencial agrícola e ambiental que podem vir a receber a instalação de usinas, na medida em que a concorrência com outros usos é limitada.

Adicionalmente, outras áreas que compreendem demais atividades econômicas (áreas industriais, comerciais, logísticas, infraestrutura, etc.), cuja vocação principal é a criação de empregos locais, podem potencialmente se adaptar com mais facilidade à integração de projetos de usinas solares após avaliação de viabilidade técnica-econômica-ambiental e estudos de alternativas locais.

Com efeito, algumas localidades podem oferecer grandes **superfícies artificializadas** para as quais um uso duplo poderia ser especialmente adaptado, por exemplo, aeroportos, estacionamentos, pontes ou ainda grandes superfícies de empreendimentos comerciais.

Além da capacidade da rede, é necessário também levar em conta a distância entre a central solar e as linhas de transmissão, considerando que os custos de novas linhas de transmissão são relativamente elevados.

A instalação de uma usina solar exige o transporte de inúmeros materiais, entre os quais alguns particularmente frágeis; assim sendo, a largura das vias de acesso, a qualidade das estradas e a possibilidade de manobrar caminhões são critérios a serem considerados.

²⁴ Perfil do Agronegócio 2003-2011, Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais.



Instalações fotovoltaicas descentralizadas

Contexto

A estratégia organizacional adotada pelo sistema elétrico e obedecida ao longo de sua história consiste em grandes centrais de geração e uma extensa rede de linhas de transmissão e distribuição, conhecida como geração centralizada de energia. Quando a demanda de energia aumenta, a resposta é um aumento da geração, porém quando a demanda excede os limites da capacidade do sistema, a solução adotada é sempre a construção de novas unidades de geração, e por consequência, o aumento do transporte e distribuição (e perdas) dessa maior energia comercializada. O questionamento quanto a essa forma de planejar a expansão da oferta de eletricidade do setor elétrico, aliada a introdução no mercado de novas tecnologias que reduzem significativamente o custo da energia produzida, localizadas próximas dos centros de carga, traduz o conceito de Geração Distribuída.

De forma pioneira, o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), criado em 1994, promoveu a aquisição de sistemas fotovoltaicos por meio de licitações internacionais. Foi instalado o equivalente de **5 MWp em aproximadamente 7.000 comunidades** em todo Brasil. O PRODEEM foi incorporado ao Programa Luz para Todos com o intuito de atender localidades remotas, para as quais a extensão da rede de distribuição traz custos proibitivos.

Ao todo foram instalados 2.046 sistemas fotovoltaicos de 2004 a 2009²⁵. O programa menciona também algumas experiências específicas de comunidades isoladas. Infelizmente, não há referências atualizadas sobre os sistemas fotovoltaicos na edição de 2010.

Nos centros urbanos, os sistemas fotovoltaicos podem ser utilizados em **áreas já ocupadas, telhados de residências, coberturas de estacionamentos e coberturas de edifícios**, como unidades de geração distribuída.

Inventário de instalações fotovoltaicas descentralizadas

O site da ANEEL listava **10 instalações solares fotovoltaicas em operação** (comerciais e residenciais) no fim de 2013, em Minas Gerais, representando uma potência total instalada de 104 kW conforme Tabela 13.

²⁵ Relatório da Administração da Eletrobras, 2009



Tabela 13 - Instalações fotovoltaicas e capacidade de produção em Minas Gerais (Fonte: ANEEL 2013)

INSTALAÇÕES	POTÊNCIA (kW)	MUNICÍPIO
PGM	6,58	Uberlândia - MG
Eros Roberto Grau	22,03	Tiradentes - MG
Pedro Bernardes Neto	29,6	Uberlândia - MG
Helena Guimarães de Rezende	2,12	Uberlândia - MG
Tecidos Miramontes	3,29	Uberlândia - MG
Marco Aurélio Soares Martins	26,9	Nova Lima - MG
Danilo Maximiliano Marcon	3,12	Andradas - MG
Eduardo Carvalhaes Nobre	3,57	Brumadinho - MG
Algar Telecom	3,29	Uberlândia - MG
Seltec Soluções Elétricas e Tecnológicas	3,5	Teófilo Otoni - MG
Total: 10 Instalações		Potência total: 104 kW

A maioria das instalações está situada na região do Triângulo (6). Há também 2 instalações na região metropolitana de Belo Horizonte, uma na região Sul de Minas e uma na região Jequitinhonha/Mucuri.

Potencial de geração de energia

A discussão do potencial de geração de energia desta tecnologia, custos e critérios operacionais deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações descentralizadas de Minas Gerais e outras possíveis localidades.

Potencial teórico

A discussão do potencial teórico ocorrerá durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre pequenas instalações fotovoltaicas de Minas Gerais e outras possíveis localidades. Entretanto, como a fonte de energia é a radiação solar, a princípio, o potencial teórico é o mesmo da produção de energia solar centralizada.



Potencial técnico

A partir de uma avaliação preliminar, se considerarmos que 1% da área urbana de Minas Gerais seja ocupada por painéis solares (nas coberturas de prédios comerciais, residenciais, em parques, em postes para iluminação pública, etc.), os sistemas descentralizados poderiam gerar cerca de **6 TWh**.²⁶ Essa avaliação não toma em conta inovações do tipo “janela solar”.

A discussão do potencial técnico para os setores residenciais e comerciais ocorrerá durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre pequenas instalações de Minas Gerais e outras possíveis localidades.

Com relação à **iluminação urbana**, a avaliação de equipamentos solares desenvolvidos pelo setor privado identificou tecnologias disponíveis para iluminação urbana solar, para áreas com insolação acima de 1400 kWh/m²/ano.

Essas tecnologias presentes no mercado permitem oferecer alternativas às soluções com conexão à rede elétrica.



Por exemplo, um equipamento funcionando com um painel solar, uma bateria NIMH e um bloco LED, apresenta as características técnicas seguintes:

- ▲ Rendimento de luz: 130 lumen / W
- ▲ autonomia sem interrupção de 20h.
- ▲ reciclagem possível da bateria superior a 50%
- ▲ inclinação possível entre 20° e 10°.
- ▲ 7 anos sem manutenção

Mais informações referentes ao potencial técnico de instalações fotovoltaicas descentralizadas em Minas Gerais serão apuradas junto aos atores envolvidos durante o processo participativo do PEMC e divulgadas após o mesmo.

Potencial econômico

A recente queda de preços de sistemas fotovoltaicos, que caminha com rapidez para a viabilidade econômica, foi uma das principais motivações para a ANEEL assumir postura proativa na elaboração de regulamentação mais adequada e que auxilie vencer algumas barreiras existentes à implantação desses sistemas. Neste contexto, em agosto de 2011, a

²⁶ Área urbana : 3032.64km² ; insolação : 1400 kWh/ano ; rendimento: 15%.

ANEEL fez uma chamada pública definindo a geração fotovoltaica como estratégica e elaborando o escopo para projetos de P&D.

A ABINEE fez uma avaliação da competitividade de instalações fotovoltaicas de pequeno porte²⁷ mostrada na Figura 22 abaixo.

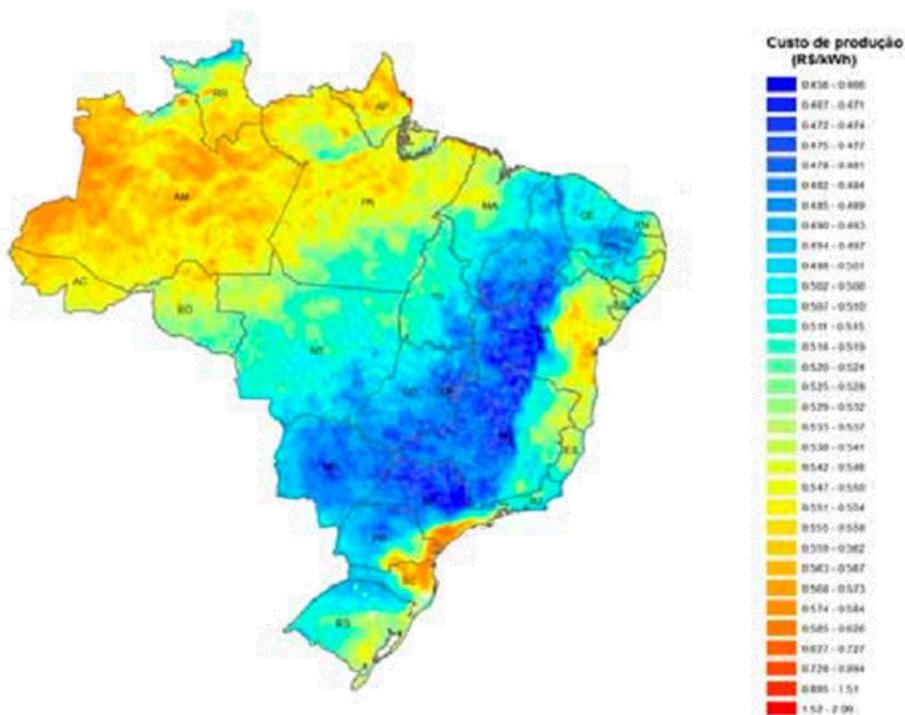


Figura 22 - Custo de produção de energia (R\$/kWh) por instalações residenciais de 3kW (Fonte: ABINEE, op.cit.)

Em uma comparação nacional, Minas Gerais apresenta baixos custos associados a estas tecnologias com aproximadamente R\$ 0,49/kWh. Entretanto, ainda muito acima dos preços dos leilões de energia da ANEEL. Particularmente interessante é a comparação dos preços médios de geração no estado com as tarifas locais da energia elétrica pagas pelos consumidores, conforme a Figura 23.

²⁷ ABINEE 2012, op.cit.



Figura 23 - Tarifa de energia com impostos para clientes na baixa tensão (Fonte: ABINEE, op.cit.)

Mesmo com o valor mínimo aproximado de R\$ 0,57/KWh, as instalações fotovoltaicas já seriam competitivas para clientes conectados à baixa tensão (residenciais). No entanto, há certo descasamento entre os custos de produção apresentados e os percebidos pelo usuário final. Por exemplo, o cálculo assume que autoprodutor seria o responsável pela compra dos equipamentos e elaboração dos projetos. Na prática, os potenciais pequenos consumidores/geradores necessitam da contratação de terceiros para viabilização dos projetos de geração no local. Dessa forma, esses custos adicionais e impostos incidentes impactam na competitividade dessa fonte de energia atualmente.

Dado o preço menor para clientes na alta tensão, a viabilidade é ainda pior neste caso. A ABINEE conclui que será necessária uma queda ainda maior no custo dos sistemas fotovoltaicos (da ordem de 30%) para que no mercado de shopping centers, supermercados, hospitais, resorts, pequenas instalações industriais, entre outros, seja viável.

Entretanto, existe uma **barreira financeira** se considerarmos que nem todos estão dispostos a **investir** mais de R\$ 10 mil para adquirirem um sistema de 2 kW. Opções para incentivar estes investimentos devem ser, portanto, pensadas de modo a viabilizar economicamente projetos fotovoltaicos como o aumento do período de carência, outros incentivos fiscais, creditícios, garantias, etc. Algumas experiências internacionais mostram que pode ser relevante o papel de empresas que ofereçam alternativas que transformam o investimento nestes sistemas em pagamentos mensais pelo serviço “geração de energia solar”. Tais



empresas se encarregam de vender, instalar, e manter os sistemas fotovoltaicos, cobrando um valor fixo por este serviço, tal como as prestadoras de TV a cabo ou similares. Este tipo de modalidade é conhecido nos Estados Unidos por “Solar Lease” e tem sido responsável pela proliferação de instalações solares fotovoltaicas em estados como a Califórnia, que oferece fortes incentivos (redução de impostos) para tais instalações.

A Tabela 14 compara os custos ligados aos investimentos em uma instalação fotovoltaica residencial (3 kW), comercial (30 kW) e em uma usina solar (30 MW). Os módulos fotovoltaicos representam entre 50% e 70% do custo total do investimento.

Tabela 14 - Custos de investimentos dos sistemas fotovoltaicos (Fonte: Challenges to insert photovoltaic solar energy in the Brazilian electric matrix, CEMIG, op. cit.)

Application	Residencial	Comercial	Planta
Capacidade (kW)	3	30	30.000
Custo de módulos e inversores de frequência (R\$)	11.605	116.047	116.047.414
Custo de cabeamento e proteções (R\$)	2.250	18.000	13.100.000
Custo de instalação (R\$)	3.750	24.000	14.000.000
Outros custos (conexão, projeto, etc.) (R\$)	3.750	30.000	18.000.000
Total (R\$)	21.359	188.047	161.147.414
Total (R\$/W)	7,12	6,27	5,37

Barreiras e restrições

Considerando os cálculos da EPE²⁸ feitos com base na instalação de painéis com 5 kW de potência em casas (cujos investimentos chegam a R\$ 38 mil), o custo atual da tecnologia é de R\$ 602/MWh. As simulações do órgão mostram, entretanto, que se for desenvolvida uma linha de financiamento especial, o custo pode cair para R\$ 585/MWh e o mercado potencial

²⁸ Energia hoje : EPE traça cenários para solar. http://www.epe.gov.br/imprensa/Clipping/20120703_k.pdf



pode chegar a até 21% do consumo residencial nacional. Se houver isenção fiscal de Imposto de Importação e de PIS/Cofins (as células já não são taxadas em IPI e ICMS) o custo de instalação poderia cair para R\$ 549/ MWh e o mercado potencial, crescer para 29% do consumo residencial do Brasil. A última circunstância analisada foi se o investimento em geração solar pudesse ser deduzido do Imposto de Renda, solução já desenvolvida nos Estados Unidos. Nesta linha, o abatimento ocorreria nos dois primeiros anos de investimento, de 15% em cada ano, e o custo sofreria redução para 465 R\$/MWh. Nesse caso, o mercado seria bem maior, de 69% do consumo residencial nacional podendo aderir à geração distribuída. **Caso os incentivos sejam feitos todos à mesma época, o efeito cumulativo reduziria os custos da energia solar para R\$ 409/MWh, e tornaria a fonte viável para 98% do consumo residencial do país.**

A identificação e o aprofundamento da discussão das barreiras e restrições ocorrerá durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre pequenas instalações fotovoltaicas de Minas Gerais e outras possíveis localidades.

Centrais de concentração solar

Contexto

No caso de uma central de concentração solar, a radiação é convertida em calor e, em seguida, em energia mecânica e elétrica, por meio de um ciclo termodinâmico motor acoplado a um gerador elétrico (por exemplo, uma turbina e um gerador).

A central solar termodinâmica é destinada principalmente às áreas que apresentam um grande período de insolação e se diferencia das usinas fotovoltaicas pela possibilidade de equilibrar a produção com mais facilidade, graças a um armazenamento térmico tampão, menos oneroso que o sistema de baterias.

Há, especificamente, **dois procedimentos principais** de concentração de alta temperatura (250°C - 1800°C):

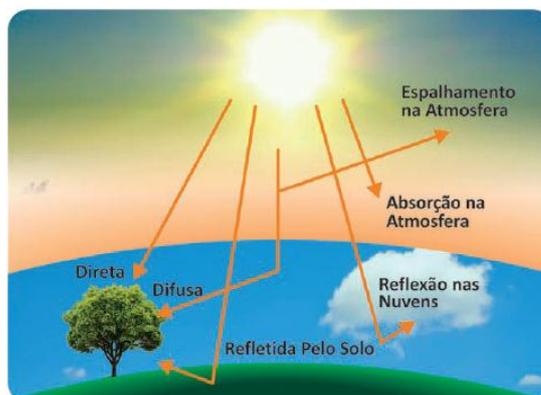
- A focalização dos raios luminosos sobre um ponto (atingindo-se, assim, temperaturas entre 500°C - 1200°C), como nas usinas com torres e as usinas com discos parabólicos;
- A focalização dos raios luminosos sobre uma linha (250°C - 500°C), como as usinas com concentradores lineares de Fresnel ou as usinas com concentradores cilíndricos-parabólicos.

Esses procedimentos de concentração de alta temperatura são conectados a sistemas de conversão que permitem a geração de eletricidade: máquina ORC ou Stirling, turbina a vapor ou a gás etc.



Nota-se que a radiação global é a soma da radiação direta e da radiação difusa sobre uma superfície de recepção horizontal:

- A **radiação direta** nos atinge diretamente a partir do sol;
- A **radiação difusa** atinge indiretamente a superfície terrestre, pois é dispersa ou refletida por componentes da atmosfera como nuvens, água ou partículas de poeira.



No caso das usinas de concentração, é necessário ter uma estimativa precisa da radiação normal direta, ou seja, que corresponda à radiação direta perpendicular à direção do sol (sem desvio pelas nuvens ou poeiras encontradas na atmosfera), pois essa tecnologia utiliza somente essa parte da radiação solar para produzir energia.

De maneira geral, qualquer que seja a tecnologia utilizada, os locais mais apropriados são os que apresentam, no mínimo, uma radiação solar direta de 2.000 kWh/m².ano (ou seja, 5,5 kWh/m².dia na média diária anual), com uma pequena taxa de umidade e, principalmente, de poeira.

Cabe destaque ao projeto desenvolvido pela CEMIG, que instalou a primeira usina termelétrica-solar experimental do Brasil no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG (Figura 24). Essa usina funciona com concentradores cilíndricos-parabólicos e com uma capacidade de geração de 10 kW²⁹.

Para uma central com concentradores cilíndricos-parabólicos de 80 MW, os critérios de conexão são similares aos de uma central térmica clássica; sendo necessário projetar uma rede de conexão em uma linha de transmissão de 230 kV.

A disponibilidade de água (de qualidade para evitar a oxidação do material) é um critério prioritário, visto que uma central com concentradores cilíndricos-parabólicos de 50 MW que funciona 350 dias por ano e 10 horas por dia consome em média 1.500 m³ por dia, ou seja, **500.000 m³ em um ano**.³⁰ Essa água é utilizada principalmente pelas torres de resfriamento, assim como para a produção de vapor no ciclo de geração de energia e para a limpeza dos espelhos.

²⁹ Challenges to insert photovoltaic solar energy in the Brazilian electric matrix, CEMIG, World Energy Congress, Daegu 2013

³⁰ Atlas solarimétrico, CEMIG, op.cit.



Figura 24 - Usina solar termelétrica experimental localizada no CEFET-MG (Fonte: Challenges to insert photovoltaic solar energy in the Brazilian electric matrix, CEMIG, World Energy Congress, Daegu 2013)

Inventário de usinas de concentração solar

Usinas solares de concentração solar ainda não foram alvo de investimentos significativos e experiências comerciais até o momento. Dessa forma, a discussão desta tecnologia deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre empreendimentos e iniciativas desta tipologia. As informações resultantes de tais discussões serão publicadas em uma nova versão após o fim do processo participativo.

Potencial de geração de energia

A discussão do potencial de geração de energia desta tecnologia, custos e critérios operacionais deverá ser complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre centrais de concentração solar em Minas Gerais e possíveis outras localidades.

Potencial teórico

A discussão do potencial teórico ocorrerá durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre usinas de concentração solar de Minas Gerais e outras possíveis localidades. Entretanto, como a fonte de energia é a radiação solar, a princípio, o potencial teórico é o mesmo da produção de energia solar centralizada.

A Figura 19 mostra o tempo médio de insolação em Minas Gerais que possibilita a determinação da radiação solar média anual que vai de 4,5 a 6,5 kWh/m².dia, com valores máximos observados no norte do estado e valores mínimos no sudeste (média anual que não apresenta as eventuais variações sazonais).



Potencial técnico

Os concentradores solares podem ser utilizados em diferentes formas e a área, eficiência e taxa de concentração depende da tecnologia. Esses fatores podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 - Características de diferentes tecnologias (Fonte: KALOGIROU (2009), BEERBAUM e WEINREBE (2000))

Tecnologia	Faixa de capacidade indicada (MW)	Taxa de concentração	Eficiência solar-elétrica (%)	Área requerida (m ² /kW)
Parabólico	10-200	70-80	10-15	18
Fresnel	10-200	20-100	9-11	-
Torre	10-150	300-1000	8-10	21
Disco	0,01-0,4	1000-3000	16-18	20

Muitas das tecnologias dos concentradores precisam de um sistema de rastreamento do sol para melhor aproveitamento da radiação do sol, uma vez que a temperatura para a geração de calor está entre as faixas de 80 a 250°C e de 900 a 1500°C.

A discussão do potencial técnico será complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre centrais de concentração solar em Minas Gerais e possíveis outras localidades. De maneira geral, o potencial técnico está muito ligado a existência de áreas aproveitáveis, sendo necessários estudos mais abrangentes nesse sentido.

Potencial econômico

A discussão do potencial econômico será complementada durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre centrais de concentração solar em Minas Gerais e possíveis outras localidades.

Barreiras e restrições

A identificação e discussão das barreiras e restrições ocorrerá durante a fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre centrais de concentração solar em Minas Gerais e possíveis outras localidades.



Aquecedores solares

Contexto

Diferentemente dos países de clima mais frio, os brasileiros não tem o hábito de ter água quente nas torneiras, à exceção da água para banho, que é aquecida em 80,9% dos domicílios brasileiros.³¹ Em 74% dos casos (e quase 100% em Minas Gerais), um **aquecedor elétrico** (Figura 25) é utilizado na câmara do *chuveiro elétrico*.

Esse sistema é especialmente ineficiente do ponto de vista energético, já que ele está baseado na utilização de uma resistência elétrica que transmite calor para a água corrente.

Conforme dados do PROCEL, essa ineficiência se reflete na **parcela de participação dos equipamentos domésticos no consumo de eletricidade (24%)**, sendo o **chuveiro o principal responsável pelo consumo de energia elétrica** em um domicílio brasileiro (Figura 26).



Figura 25 - Aquecedor de água elétrico brasileiro

³¹ Segundo o estudo sobre os usos da energia (PPH) feito pela Eletrobrás-PROCEL em 2007, com dados de 2005.

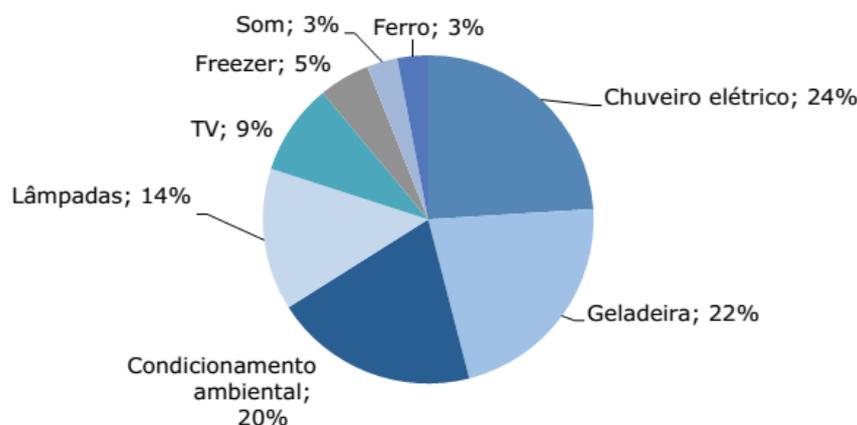


Figura 26 - Distribuição por uso do consumo elétrico nos domicílios brasileiro (Fonte: Souza, 2007, apud Procel 2007)

Considerando que Minas Gerais têm condições climáticas privilegiadas para a energia solar, conforme detalhado anteriormente, o aquecimento solar para a água de uso doméstico é absolutamente competitivo. Com base em dados de 2005, o estudo PROCEL (2007) estimava, entretanto, que apenas 0,4% do total de domicílios no Brasil utilizava um aquecedor solar.

O aquecedor solar funciona pelo aquecimento da água através de coletores ou concentradores solares. Os coletores são mais utilizados nas aplicações residenciais e comerciais (hotel, restaurante, hospitais etc.) com temperaturas inferiores a 100°C (banho, lavagem de utensílios). Para essas aplicações, a água circula entre os coletores e o reservatório térmico devido a variações de densidade em função da temperatura. A instalação comporta painéis solares, um reservatório térmico isolado e misturadores de água (COHAB-MG, 2012).

Caso sejam ainda considerados os custos para a sociedade (externalidades negativas) do consumo de eletricidade de sistemas centralizados, como os impactos socioambientais da construção de usinas hidrelétricas e as perdas nas redes de distribuição, a expansão dos aquecedores solares desponta como uma das principais alternativas para ampliação da parcela de energias renováveis e segurança energética no estado de Minas Gerais.

De acordo com a Abrava, durante um ano, cada m² de coletor solar instalado equivale a 215 kg de lenha ou 766 litros de diesel, ou ainda 55 kg de gás (DASOL, 2012). Além da possibilidade de aumento da oferta de energia, o uso de coletores solares traz benefícios para a redução das emissões de gases de efeito estufa, pois evitam o consumo de energia do grid nacional, o qual apresenta emissões crescentes nos últimos anos associadas à geração termelétrica. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) estimou que cerca de 30% das emissões de CO₂ das edificações, projetadas para 2020, poderiam ser mitigadas globalmente de maneira economicamente eficiente, adequando projetos ao clima local e



com introdução de tecnologias de aproveitamento da energia solar, como sistemas de aquecimento solar (ICLEI, 2012).

Inventário de aquecedores solares em Minas Gerais

Minas Gerais concentra **30% dos aquecedores de água solares do Brasil**, com **2,18 milhões de m²** instalados até 2011, com uma capacidade instalada de 1,3GW_{th}. De 1991 a 2010 (ver Figura 27), esses aquecedores de água permitiram economizar 10 TWh³², ou seja, 861 ktep.

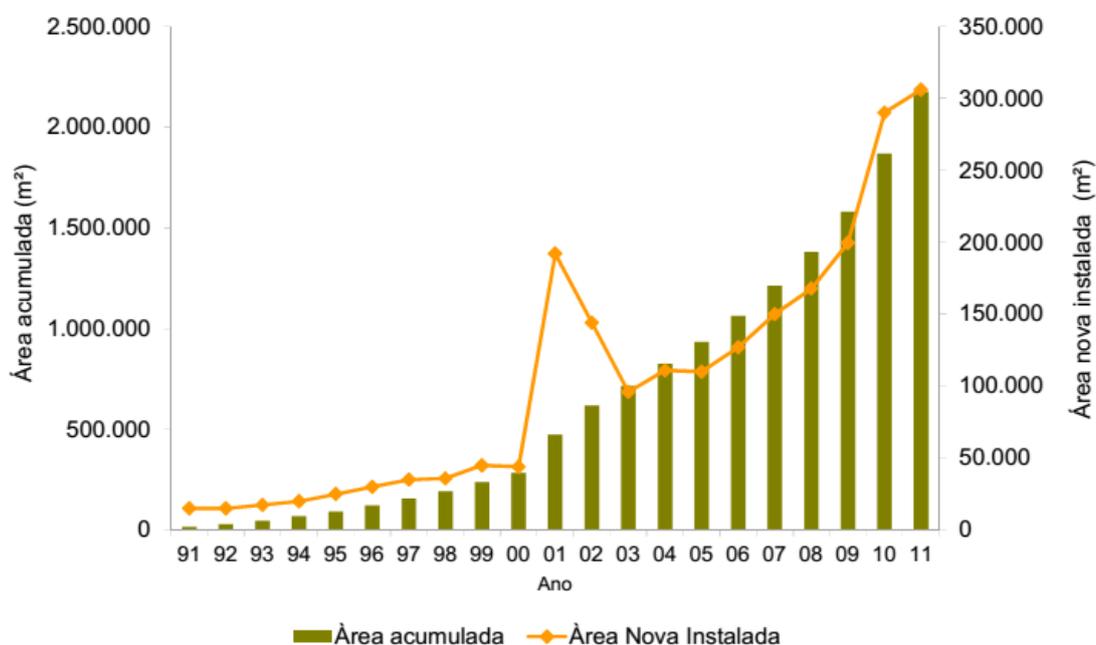


Figura 27 - Evolução dos aquecedores de água solares instalados em Minas Gerais, em m² de painéis (Fonte: BEEMG 2011, op.cit.)

Os valores verificados totalizam uma área de aproximadamente 1,58 milhões de m² de coletores solares no estado em 2009, e 1,87 milhões de m² de coletores solares em 2010 (Figura 28). Deve-se observar que em 2001 houve um pico na área nova instalada, o que pode ser atribuído em parte à crise de oferta de energia elétrica ocorrida no período. (CEMIG, 2011).

O pico a partir de 2000 pode ser explicado em grande parte pela reação dos domicílios ao racionamento de energia ocorrido no mesmo ano e as restrições ao consumo de energia que

³² Considerando-se uma produção média de 70kWh/mês/m². Dados BEEMG 2011, op.cit.

se seguiram e duraram diversos meses. A distribuição dos aquecedores por setores é mostrada na figura abaixo:

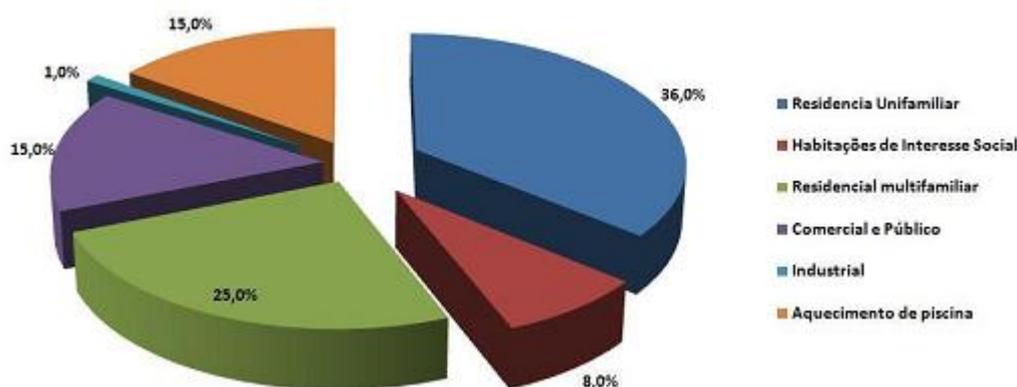


Figura 28 - Distribuição dos aquecedores de água solares por setor (Fonte: BH Solar)

Em 2011, a economia de energia era de 1,57 TWh, ou seja, 9,4% do consumo elétrico dos setores residencial, comercial e público.

Minas Gerais têm 6 milhões de domicílios segundo o IBGE (2010) e, considerando que 4 m² de coletores bastam para um domicílio, avalia-se em **5,3 % o número de domicílios que utilizam um aquecedor de água solar** (contra 0,4% no Brasil).³³

Esse dinamismo em Minas Gerais é acompanhado pela existência de empresas especializadas. A associação dos profissionais do setor, BH Solar, estima que 23 empresas mineiras representem 22% do mercado brasileiro e são responsáveis pelas instalações em 85% da superfície em Minas Gerais. Esse setor representaria mais de 50.000 instalações de diversos portes no Brasil e geraria 700 empregos.

Com relação ao financiamento, as linhas de crédito mais representativas do setor são (MME, 2011):

- Programa de Arrendamento Residencial (PAR).
- Financiamento pelo Programa FGTS- Carta de Crédito Individualizada.
- FGTS – Material de construção (Construcard).
- FAT – habitação – Imóvel na planta.
- Recursos Caixa – Imóvel na planta.

Para alavancar ainda mais esse desenvolvimento, Minas Gerais tem atualmente três projetos de lei para tornar obrigatória a instalação de aquecedores de água solares em novas construções. Um trata de novas construções públicas, a outra de construções sociais financiadas pelo governo e, a terceira, de todas as novas construções. No último caso, a

³³ Considerando a figura 26, 69% dos aquecedores estão usado no setor residencial.



instalação seria obrigatória nas construções com mais de 3 andares, enquanto seria apenas obrigatório prever o encanamento adequado para as construções menores.

Potencial de geração de energia

Potencial teórico

Como a fonte de energia é a radiação solar, a princípio, o potencial teórico é o mesmo da produção de energia solar centralizada.

Potencial técnico

Os aquecedores são geralmente utilizados para um uso final específico. O potencial técnico, portanto, pode ser calculado através da demanda máxima.

A grande demanda dos aquecedores solares é o aquecimento de água para banho nas residências como visto anteriormente. Dessa forma, o potencial técnico pode ser obtido quando considera-se que todas as moradias dispõem desse sistema, o que não se configura como um cenário de realidade do estado. Dessa forma, todo o potencial de geração a ser explicitado nesse capítulo recai sobre os dados de habitação, uma vez que não foram encontrados outros dados específicos para esta avaliação através de outras dimensões.

Em 2011 a área de aquecedores instalados em Minas Gerais era de 2.176.000 m² (Figura 27). Destes, 69% são usados no setor residencial. Considerando informações do BEEMG, de que cada residência necessita, em média, de 4 m² de coletor solar³⁴ para aquecimento. Dessa forma, estima-se que a área distribuída pelo setor residencial equivale a 375.000 domicílios, o que representa 6,2% do número de residências no estado. Portanto, **considerando-se um panorama de atendimento total da tecnologia no estado, 22 milhões de m² de coletores ainda poderiam vir a ser instalados**. Em um estudo sobre projeções de produção e consumo energético para o estado, a FEAM estima que a instalação de aquecedores de água solares poderia alcançar cerca de **7,5 milhões de m²** de coletores, em 2030, simulando a tendência histórica e estímulos adicionais para implantação em novas construções residenciais.

Esse potencial técnico poderia ser aprofundado com os seguintes elementos:

- Incluir outros setores que também tenham necessidade de água quente: hospitais, clube de esportes, hotéis, indústrias com necessidades particulares. Assim o potencial técnico poderia crescer ainda mais;
- Para os setores citados e o setor residencial, quantificar melhor as superfícies de cobertura efetivamente acessíveis. A falta de dados urbanos consolidados é um fator limitante;

³⁴ Atlas de Energia Elétrica do Brasil, ANEEL, 2012.



- Para as piscinas, seria necessário verificar se a instalação de um aquecedor de água solar substituiria um sistema existente ou aumenta o nível de conforto.

Existe atualmente em Minas Gerais um estudo em desenvolvimento sobre as necessidades das indústrias relacionadas ao aquecimento solar de água, com resultados previstos para a primeira metade de 2014³⁵.

A discussão do potencial técnico deverá ser aprofundada na fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de aquecedores solares em novas e antigas construções.

Potencial econômico

Considerando-se os fatores restritivos associados à instalação de coletores solares em prédios antigos (orientação, espaço disponível sobre o telhado, sombra causada por outras construções, etc.), atualmente, parcela significativa do potencial técnico é inviável economicamente, uma vez que a tecnologia é mais facilmente dimensionada, e portanto viável, para novas construções.

Para as necessidades de um domicílio típico (média de 3,5 habitantes por domicílio), são necessários 4m² de painéis. O custo de investimento para novos domicílios é de R\$ 1.400,00 para uma economia de quase 35% na conta de luz com um prazo de retorno do investimento inferior a 4 anos (mesmo na falta de maiores incentivos fiscais e creditícios)^{36,37,38}.

Nesse sentido, a Cohab Minas, em parceria com a CEMIG/ANEEL, introduziu a energia solar como um instrumento para melhoria nas residências que serão criadas através do Programa Lares Gerais – Habitação Popular (PLHP).

Durante a primeira etapa do Programa foram instalados 1.215 equipamentos em 10 conjuntos habitacionais, distribuídos em 9 municípios. Contudo, visando a ampliação desse benefício, Cohab Minas e a CEMIG, assinaram um novo convênio que prevê a instalação de 15.000 equipamentos em conjuntos construídos dentro do PLHP, sendo que até o momento cerca de 12.000 aquecedores estão instalados, distribuídos em 139 cidades.

³⁵ Reunião com a professora Elizabeth Duarte do dia 9/01/2014

³⁶ ICLEI 2012, como citado na nota técnica sobre o solar térmico, FEAM 2012.

³⁷ Segundo o projeto-piloto de Contagem (100 residências, 10 de experiência). Citado em Energia Solar para aquecimento de água, 2012, Procel.

³⁸ Para domicílios de baixa renda, em substituição ao aquecedor elétrico de chuveiro. Fonte: Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil, Martins et al., Elsevier, 2012.



Somente em Belo Horizonte, a meta do Governo Federal através da segunda etapa do programa Minha Casa, Minha Vida³⁹ é de construir cerca de 22 mil moradias até 2016.

Considerando o déficit habitacional em Minas Gerais, estimado, segundo a Fundação João Pinheiro, em cerca de 557 mil moradias, além das residências que já existem, mas que não possuem sistema de aquecimento de água, o potencial econômico de crescimento e uso da tecnologia é bastante significativo. Assim, considera-se um potencial econômico de **2,3 milhões de m² em função das novas moradias**, que corresponde a **1,87 TWh**.

De maneira geral, o potencial está muito relacionado a novas residências e estabelecimentos, sendo necessários estudos mais abrangentes para demonstrar a viabilidade econômica em construções mais antigas.

A discussão do potencial econômico deverá ser aprofundada na fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência sobre instalações de aquecedores solares em novas e antigas construções.

Barreiras e restrições

O estudo do PROCEL adianta algumas barreiras a serem superadas para apoiar o crescimento dos aquecedores de água solares e alcançar o objetivo proposto pelo grupo de trabalho PROCEL, de 15 milhões de m² de coletores em 2015 - ou seja, 10.500 MWth instalados:

- Criar linhas de financiamento: apesar da economia significativa (R\$ 16/mês, ou seja, 2,4% do salário mínimo e um PRI inferior a 4 anos) e a participação na diminuição das emissões de gases de efeito estufa, o investimento inicial em um aquecedor de água solar pode ser inibitório para muitas famílias e empresas.
- Queda de eficiência das instalações: com o objetivo de garantir um bom desempenho do dispositivo com o passar do tempo, é necessária uma manutenção pelo usuário (limpeza dos painéis, etc.). As trocas de experiência têm mostrado, de fato, quedas no desempenho muito frequentes, especialmente nas populações de baixa renda.
- Desenvolvimento de um setor local de aquecedores solares: permitiria co-benefícios em termos socioeconômicos e ambientais (geração de empregos no estado, aquecedores fabricados com energia brasileira altamente renovável etc.).

³⁹ O programa Minha Casa, Minha Vida foi lançado em 2009 pelo Governo Federal com o objetivo de enfrentar o déficit habitacional do país.



Apesar do estado de Minas Gerais figurar nos últimos anos como destaque no cenário nacional de aproveitamento da energia solar para aquecimento de água, esforços devem ser direcionados para a continuidade do crescimento da utilização dessa fonte de energia.

O estado era responsável por cerca de 40% de toda a área de coletores solares instalados no Brasil, em 2010, atualmente conta com 30% (BEEMG, 2012). Isso decorre principalmente do fato de que os outros estados federados estejam implantando políticas públicas de incentivos fiscais e promulgando leis que instituem a obrigatoriedade de uso de coletores solares em novas edificações de uso público e privado.

A discussão das barreiras e restrições deverá ser aprofundada na fase participativa do PEMC, por meio de trocas de experiência para instalações de aquecedores solares em novas e antigas construções.

