

IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E SOCIAIS DE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL ATÉ 2030



Cenários de Mitigação de GEE do Setor Residencial (Demanda de Energia)

Relatório Técnico

Autores:

Amaro Olímpio Pereira Junior e Mariana Weiss (Centro Clima/COPPE/UFRJ)

Citação:

PEREIRA JR, A.O.; e WEISS, M. (2015). Cenários do Setor Residencial . In: LA ROVERE, E. L. et al., 2016 – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

EQUIPE DO PROJETO IES-Brasil

FORUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – COORDENAÇÃO INSTITUCIONAL

Luiz Pinguelli Rosa – Coordenador Geral

Neilton Fidelis – Coordenador Executivo

CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ – COORDENAÇÃO TÉCNICA

Emilio Lèbre La Rovere – Líder de Pesquisa e Modelagem

William Wills – Coordenador de Pesquisa e Modelagem Macroeconômica

Carolina Burle Schmidt Dubeux, Amaro Olímpio Pereira Junior e Sergio Henrique Ferreira da Cunha –
Coordenadores de Estudos Setoriais

Isabella da Fonseca Zicarelli – Assistente de Coordenação

ECOSYNERGY – EQUIPE DE FACILITAÇÃO

Barbara C. P. Oliveira – Líder de Processo e Facilitação

Sergio Marcondes

Luisa Santos Sette Câmara Moreira

EQUIPE DE MODELAGEM MACROECONÔMICA

William Wills, Carolina Grottera, Romulo Neves Ely – Centro Clima/COPPE/UFRJ

Julien Lefevre – CIRED/CNRS (*Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement*)

EQUIPE DE ESTUDOS SETORIAIS

Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU): Marcelo Melo Ramalho Moreira, Leila Harfuch, William Kimura, Luciane Chiodi Bachion, Rodrigo Lima, Wilson Zambianco e André Nassar – Agroicone; Carolina B. S. Dubeux e Michele K.C. Walter – Centro Clima/COPPE/UFRJ

Setor Energético: Amaro Olímpio Pereira Junior, Sergio Henrique Ferreira da Cunha, Thauan Santos, Mariana Weiss, Larissa Albino da Silva Santos e Patricia Turano de Carvalho – Centro Clima/COPPE/UFRJ

Setor Industrial: Shiguelo Watanabe Jr, Roberto Kishinami e Ana Toni – CO2 Consulting

Setor de Resíduos: Saulo Machado Loureiro e Carolina B.S. Dubeux – Centro Clima/COPPE/UFRJ e Victor Zveibil

Setor de Transporte: Amaro Olímpio Pereira Junior, Luan Santos e Luiza Di Beo Oliveira – Centro Clima/COPPE/UFRJ

EQUIPE DE COMUNICAÇÃO

Roberta Nadalutti La Rovere

GERÊNCIA ADMINISTRATIVA

Charlotte Heffer – Gerente de Projeto

Mariana Portellada – Assistente Administrativa

Yuri Ramos Alves – Estagiário

Sumário

Introdução	1
1. Cenário de Plano Governamental (CPG)	4
1.1. Premissas Utilizadas na Modelagem	6
1.2. Medidas de Mitigação já Incluídas no CPG	14
1.3. Resultados Finais.....	14
2. Cenários de Mitigação Adicional (MA)	19
2.1. Cenário de Mitigação Adicional 1 (MA1)	19
2.1.1. Medidas de mitigação já previstas no CPG cujo alcance foi ampliado	19
2.1.2. Novas medidas de mitigação	20
2.1.3. Resultados do MA1	20
2.2. Cenário de Mitigação Adicional 2 (MA2)	23
2.2.1. Medidas de mitigação já previstas no MA1 cujo alcance foi ampliado.	23
2.2.2. Novas medidas de mitigação	23
2.2.3. Resultados do MA2	25
3. Comparação entre os Cenários	27
4. Aspectos Socioeconômicos	30
Referências Bibliográficas	31
ANEXO METODOLÓGICO.....	34

Figuras

Figura 1.	Consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por domicílios urbanos e rurais – CPG – 2005-2030	15
Figura 2.	Evolução do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por fonte – CPG – 1990-2030	16
Figura 3.	Curva de custo marginal de abatimento do Setor Residencial –MA1 em relação ao CPG (US\$/tCO ₂ evitado).....	22
Figura 4.	Curva de custo marginal de abatimento do Setor Residencial- MA2 em relação ao CPG (US\$/tCO ₂ evitado).....	27
Figura 5.	Evolução do consumo energético (mil tep) no Setor Residencial nos cenários CPG, MA1 e MA2 – 1990-2030.....	28
Figura 6.	Evolução das emissões (MtCO ₂ e) no Setor Residencial nos cenários CPG, MA1 e MA2 – 1990-2030	29
Figura 7.	Varição das emissões do Setor Residencial (%) nos Cenários de Mitigação Adicional em relação ao Cenário de Plano Governamental	29

Tabelas

Tabela 1.	Consumo final energético no Setor Residencial – 2005	2
Tabela 2.	Participação dos usos finais no consumo de energia elétrica do Setor Residencial – 2005 ..	3
Tabela 3.	Emissões de GEE, por gás, do Setor Residencial – 1990-2010	4
Tabela 4.	Estimativas para o comportamento do número de domicílios total, urbano, rural, eletrificado e não eletrificado- 2005-2030	5
Tabela 5.	Estimativas da evolução da posse de aquecedores de água 2005-2030.....	10
Tabela 6.	Consumo de energia dos tipos de aquecedores de água – 2005	11
Tabela 7.	Estimativas da evolução da posse de fogões – 2005-2030	12
Tabela 8.	Consumo de energia pelos tipos de fogão – 2005	12
Tabela 9.	Estimativas do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por domicílios urbanos e domicílios rurais – CPG – 2005-2030	14
Tabela 10.	Estimativas do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por fonte energética – CPG – 1990-2030	15
Tabela 11.	Comparação entre as participações dos usos finais no consumo de energia elétrica do Setor Residencial– 2005-2030	17
Tabela 12.	Consumo médio mensal de energia elétrica pelos usos finais do Setor Residencial – 2005 - 2030	17
Tabela 13.	Comparação entre o CPG do LEAP e PNE 2050 para o consumo energético (mil tep) do Setor Residencial – 2020 e 2030.....	18
Tabela 14.	Emissões totais (MtCO ₂ e) do Setor Residencial no CPG por fonte– 1990-2030	18
Tabela 15.	Consumo médio de GLP dos fogões (tep/ano).....	20
Tabela 16.	Estimativas do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por fonte – MA1 – 1990-2030	21
Tabela 17.	Emissões (Mt CO ₂ e) relativas ao consumo energético total do Setor Residencial – MA1 – 1990-2030.....	21
Tabela 18.	Preço médio e consumo médio de energia elétrica dos aquecedores de água.....	23

Tabela 19.	Preço médio e consumo médio de energia elétrica dos refrigeradores	24
Tabela 20.	Preço médio e consumo médio de energia elétrica das lâmpadas	25
Tabela 21.	Estimativas do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por fonte –MA2 – 1990-2030	25
Tabela 22.	Estimativa de emissões (MtCO ₂ e) do Setor Residencial – MA2 – 1990-2030	26
Tabela 23.	Custos e potencial de mitigação das medidas do MA1 em relação ao CPG.....	35
Tabela 24.	Custos e Potencial de Mitigação das Medidas do MA2 em Relação ao CPG.....	36

Introdução

Neste relatório são apresentados os resultados do modelo setorial residencial no que tange às estimativas da evolução do seu consumo de energia e de suas respectivas emissões de gases de efeito estufa (GEE), até o ano de 2030.

Estas estimativas, juntamente com a simulação da adoção de medidas de mitigação de emissões do Setor Residencial serviram de insumo para o modelo de equilíbrio geral utilizado neste estudo – o IMACLIM-BR. Este modelo representa a estrutura da economia brasileira e seus inúmeros fluxos energéticos, auxiliando na construção de cenários otimizados que permitam analisar os efeitos de políticas de mitigação no crescimento econômico e desenvolvimento social, em um dado horizonte de tempo.

São construídos três cenários de emissão: o Cenário do Plano Governamental (CPG) onde são estimadas as emissões decorrentes das estimativas do consumo energético do Setor Residencial realizadas pelo Governo e dois Cenários de Mitigação Adicional (MA1 e MA2) que consideram mais medidas de mitigação no setor, sendo o MA2 mais ousado do que o MA1¹.

Por trabalhar com os fluxos monetários e os fluxos energéticos de uma economia, a estrutura do IMACLIM-BR se assemelha a uma matriz insumo-produto híbrida. Como o IMACLIM-BR e os modelos setoriais necessitam apresentar anos base iguais, optou-se pela utilização do ano base 2005, dado que são referentes a este ano os últimos resultados relativos à matriz insumo-produto brasileira divulgados pelo IBGE.

De acordo com a PNAD 2005 (IBGE, 2013), o Brasil contava com aproximadamente 52, 868 milhões de domicílios, dos quais 84,48% eram tidos como urbanos e apenas 15,52% como rurais. Ainda considerando dados da PNAD 2005 (IBGE, 2013), mais de 99, 6% dos domicílios urbanos tinham acesso à energia elétrica no ano de 2005. Desta forma, é razoável assumir que, no ano de 2005, aproximadamente 100% dos domicílios urbanos já podiam ser classificados como eletrificados. Já, em relação aos domicílios rurais, em 2005, 83,8% dos domicílios podiam ser considerados eletrificados (IBGE, 2013).

¹ Os cenários de mitigação foram simulados considerando somente medidas de comando & controle (MA1 e MA2) e, ainda, com a adoção de taxas de carbono sobre combustíveis no valor de US\$20/tCO₂e e US\$ 100/tCO₂e, respectivamente (MA1+T e MA2+T). Entretanto, no Setor Residencial, os resultados dos cenários sem e com taxa de carbono não resultaram em diferenças significativas, estando apresentados, portanto, apenas os cenários MA1 e MA2.

Quanto ao tamanho da população, o PNE 2030 (EPE, 2007) afirmava que em 2005 o Brasil possuía ao todo 185,5 milhões de habitantes, dos quais 154,3 milhões residiam na região urbana e 31,2 milhões eram habitantes da região rural. Deste modo, em média nos domicílios brasileiros residiam aproximadamente 3,51 pessoas.

No que tange ao consumo de energia, segundo dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2013), o Setor Residencial brasileiro em 2005 foi responsável por 11, 2% do consumo total final de energia do país, ficando atrás, portanto do Setor Industrial e do Setor de Transportes que representaram 37,5 % e 26,5%, respectivamente. Já, em relação ao consumo de energia elétrica, o Setor Residencial foi superado apenas pelo setor industrial e foi responsável por 22% de toda a energia elétrica consumida no país, durante o ano de 2005 (EPE, 2007).

Ao final do ano de 2005, o Setor Residencial brasileiro havia acumulado um consumo energético anual total de 21.828 mil tep (Tabela 1), o que equivale a uma média de 0,4129 tep por domicílio. A lenha, seguida da eletricidade e posteriormente do gás liquefeito de petróleo (GLP), foram as fontes energéticas mais utilizadas pelos brasileiros naquele ano. O fato de a lenha ser uma fonte energética mais utilizada do que fontes mais limpas e modernas como a eletricidade e o GLP mostra que a sociedade brasileira em 2005 ainda poderia ter muitos ganhos de eficiência neste setor. Desta forma, segundo o BEN 2013 (EPE, 2013), desde então a lenha veio perdendo espaço principalmente pela sua substituição pelo GLP na cocção. Isso indiretamente fez com que a eletricidade em 2007 ultrapassasse finalmente a lenha, tornando-se a fonte energética mais significativa no consumo final total de energia do Setor Residencial brasileiro.

Tabela 1. Consumo final energético no Setor Residencial – 2005

Fonte	Consumo (10 ³ tep)	Participação Percentual (%)
Eletricidade	7.155	32,8%
GN	191	0,9%
Querosene	17	0,1%
GLP	5.713	26,2%
Lenha	8.235	37,7%
Carvão vegetal	517	2,4%
TOTAL	21.828	100,0%

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2013).

Segundo o PROCEL (2007), o Setor Residencial é constituído por um grupo bastante heterogêneo de consumidores de energia elétrica, principalmente no que se refere ao perfil de uso de eletrodomésticos. Isso se deve principalmente às diversidades climáticas presentes em função da grande expansão

territorial do país e também às desigualdades de renda familiar, que exercem grande influência nos hábitos de consumo de energia elétrica dos domicílios.

Apesar de não ser a fonte energética mais significativa no Setor Residencial em 2005, é importante descrever o consumo de energia elétrica pelo setor brasileiro, dado que esta fonte foi utilizada em praticamente todos os usos finais principais do domicílio médio brasileiro. Segundo a pesquisa amostral realizada pelo PROCEL (2007), estima-se que mais de 2/3 dos domicílios brasileiros consumiram menos que 200 kWh de energia elétrica por mês. Na Tabela 2, é possível observar a participação dos usos finais no consumo médio de energia elétrica pelo Setor Residencial.

Tabela 2. Participação dos usos finais no consumo de energia elétrica do Setor Residencial – 2005

Usos Finais	Participação no Consumo Total
Aquecimento de água	25%
Condicionamento ambiental	3%
Refrigeração de alimentos	34%
Refrigerador	28%
Freezer	6%
Iluminação	21%
Outros usos	17%
TOTAL	100%

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2007).

Com relação às emissões (Tabela 3), o Setor Residencial emitiu diretamente 23,5 MtCO₂e com a queima de combustíveis fósseis (GLP, gás natural e querosene) e de biomassa (lenha e carvão vegetal), segundo dados do III Inventário Brasileiro de Emissões (MCTI, 2015). Em outras palavras, em 2005, 8,0% das emissões brasileiras de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O) tiveram origem no Setor Residencial, com cada domicílio emitindo em média 445 kgCO₂e.

Tabela 3. Emissões de GEE, por gás, do Setor Residencial – 1990-2010

Setor Residencial	1990	2000	2005	2010
	Mt CO ₂ e			
CO ₂	13,8	17,2	15,6	17,3
CH ₄	6,7	5,5	6,9	6,1
N ₂ O	1,0	0,9	1,1	1,0
TOTAL	21,5	23,6	23,6	24,4

Fonte: Elaboração Própria com base em MCTI (2015).

Nota: não inclui emissões da geração termelétrica

Ressalta-se que o presente capítulo apresenta valores também para as emissões da geração de eletricidade consumida pelo Setor Residencial. Essas emissões, entretanto, são consideradas como indiretas, pois ocorrem, de fato, no Setor Energético. No cômputo geral do estudo, tais emissões e/ou abatimentos estão atribuídas somente ao Setor Energético, evitando-se assim, dupla contagem.

1. Cenário de Plano Governamental (CPG)

A modelagem do Setor Residencial apresenta uma abordagem do tipo *bottom up*, ou seja, a demanda final total de energia é calculada com base nos consumos específicos e nas posses médias dos equipamentos/tecnologias, na intensidade de uso e no número total de domicílios. Logo, escolheu-se utilizar o programa paramétrico de simulação *Long-range Energy Alternatives Planning System* (HEAPS, 2013). Conhecido como LEAP, este programa devido à sua estrutura, facilita a organização e a realização de estudos de demanda de energia complexos, que envolvem a construção de cenários.

A modelagem do Setor Residencial calcula o consumo de energia com base na formulação de Januzzi & Swisher (1997), descrita no Anexo Metodológico. Segundo estes autores, a demanda final total anual de energia de um equipamento associado a um determinado uso final de um domicílio deve ser calculada levando em consideração:

- a posse média deste equipamento;
- o tempo médio de uso por dia, a quantidade média de dias por mês que é utilizado, a quantidade média de meses por ano que é utilizado; e
- a potência média do tipo de equipamento.

No que se refere aos dados, o comportamento das variáveis demográficas foi estimado para o Setor Residencial a partir de diversos estudos (EPE, 2014d; IBGE, 2013; IBGE, 2014). Neste presente trabalho, foram consideradas as projeções de crescimento da população feitas pelo IBGE (2014) e as projeções para taxa de urbanização e para número de domicílios adotados no PNE 2050 (EPE, 2014d). Foram utilizados também os dados da PNAD (IBGE, 2013) para o número total de domicílios em 2005 e 2010. Os dados não disponíveis para os demais anos da série considerada foram estimados por meio de interpolações feitas no LEAP. Estes dados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4. Estimativas para o comportamento do número de domicílios total, urbano, rural, eletrificado e não eletrificado- 2005-2030

Dados	2005	2010	2020	2030
Número Total de Domicílios (milhões)	52,9	60,0	72,8	82,0
Número Total de Domicílios (número índice)	1,6	1,8	2,2	2,5
Número de Domicílios Urbanos (%)	84,5%	85,6%	86,2%	87,5%
Número de Domicílios Rurais (%)	15,5%	14,4%	13,8%	12,5%
Número de Domicílios Rurais Eletrificados (%)	83,8%	93,2%	98,3%	100,0%
Número de Domicílios Rurais Não Eletrificados(%)	16,2%	6,8%	1,7%	0,0%
População Nacional (milhões)	185,2	195,5	212,1	223,1
População Nacional (número índice)	1,3	1,3	1,4	1,5
Número de pessoas por domicílio	3,5	3,3	2,9	2,7

Fonte: IES-Brasil (2015) a partir de IBGE (2013), EPE (2014d), IBGE (2014)

As demandas finais totais anuais de energia para o Setor Residencial brasileiro visam reproduzir a estrutura do consumo de energia deste setor, de forma a coincidir com os resultados encontrados para estes mesmos anos no Balanço Energético Nacional (EPE, 2013). Esta estrutura foi montada com base em informações sobre o consumo específico de energia pelos equipamentos, a posse de equipamentos, a participação dos usos finais no consumo médio anual de energia das residências brasileiras ao longo do período analisado. Para isso, foram utilizados alguns estudos, como: PROCEL (2007), CARDOSO (2008), IBGE (2013), EPE (2007) e GOVELLO (2010). Além destas fontes bibliográficas que apresentam dados exatamente para os anos de 2005 e 2010, foram adaptados alguns dados provenientes de fontes que apresentavam anos base vizinhos a 2005 e 2010, como por exemplo, o Balanço de Energia Útil (EPE, 2005) cujo ano base é de 2004; o PDE 2021 (EPE, 2012a) e a Nota Técnica DEA 16/12 (EPE, 2012b) cujo ano base é 2011; o PDE 2022 (EPE, 2014a), a Nota Técnica DEA 10/14 (EPE, 2014b) cujo ano base é 2012, o PDE 2023 (EPE, 2014c) e o PNE 2050(EPE, 2014d; EPE, 2014e). Ademais, quanto ao consumo específico de energia pelos equipamentos, utilizou-se também como base bibliográfica outros estudos como:

SERPA (2001), ACHÃO (2003), ABRAVA (2014), PROCEL (2013), CARDOSO (2008), MELO (2009), LIQUIGÁS (2013), CONPET (2013), UHLIG (2008), UHLIG (2011) e REGUEIRA (2010). A consideração destes demais estudos foi necessária devido à existência de poucos estudos, informações e estatísticas mais detalhados sobre este tema.

Desta forma, foram importantes para o Setor Residencial as discussões do CEC à cerca do crescimento populacional, assim como a evolução do nível de renda, de desigualdade e de educação. Adicionalmente, de grande relevância também foram as avaliações sobre o comportamento do consumo residencial de energia, principalmente com relação à participação dos usos finais no consumo de energia, ao futuro da posse de equipamentos e aos avanços na eficiência destes equipamentos domésticos no que tange ao consumo de energia.

1.1. Premissas Utilizadas na Modelagem

As premissas indicadas pelo CEC para o Cenário do Plano Governamental (CPG) do Setor Residencial visam demonstrar como se dará a evolução do consumo de energia das famílias de 2005 a 2030, de acordo com os seis principais usos finais: iluminação, refrigeração de alimentos, aquecimento de água, condicionamento de ambiente, cocção e outros usos.

Iluminação

Seguindo as estimativas do PROCEL (2007), do PNE 2030 (EPE, 2007) e do PROCEL (2013a), este estudo assumiu que em média cada domicílio apresentava 4 lâmpadas incandescentes, sendo 2 de 40 W e 2 de 60 W, e 4 lâmpadas fluorescentes, sendo 2 de 11 W e 2 de 15 W. Estas lâmpadas estiveram ligadas em média 4 horas por dia, durante todo o ano de 2005. Foram responsáveis por um consumo total anual de 363 kWh/domicílio (0,031208 tep/domicílio/ano), que coincide com a estimativa do PNE 2030 (EPE, 2007) para o ano de 2005.

Adicionalmente, o uso final *Iluminação* é o que prevê o maior ganho de eficiência energética, devido ao banimento das lâmpadas incandescentes previsto para ocorrer em 2017, conforme determinado na Portaria Interministerial MME/MCTI e MDIC nº 1.007/2010 (EPE, 2012b). Desta forma, entre 2005 e 2020, as lâmpadas incandescentes foram perdendo espaço para as lâmpadas fluorescentes. Apesar de a portaria prever o banimento das lâmpadas incandescentes do mercado para o ano de 2017, neste estudo assumiu-se que estas somente não estariam mais presentes nos domicílios brasileiros a partir de 2020, devido à vida útil das lâmpadas e à existência de estoques nos domicílios.

Adicionalmente, estimou-se que até 2030 aumentaria o número médio de lâmpadas por domicílio seguindo as tendências propostas pelo PNE 2050 (EPE, 2014e). Deste modo, em 2030, cada domicílio eletrificado possuiria em média 10 lâmpadas fluorescentes. Logo, em 2030, um domicílio consumiria em média 187 kWh/ano (0,01610 tep/domicílio/ano).

Ainda no que tange à iluminação, vale estacar que em 2005 havia uma parcela da população brasileira que não tinha acesso à energia elétrica. Esta parcela, composta majoritariamente por domicílios da região rural do país, atendia na maioria das vezes ao uso iluminação através do uso de lampiões a querosene, como revelam SERPA (2001) e ACHÃO (2003). Desta forma, assumiu-se que 80% dos domicílios rurais não eletrificados faziam uso de lampiões a querosene para iluminação. O consumo de energia deste equipamento equivale a 0,01595 tep/ano/domicílio. Contudo, espera-se que o consumo de querosene para iluminação tenda a zero, dado que se assumiu como verdadeira a hipótese de que com o programa Luz para Todos os domicílios estarão eletrificados até 2030 (EPE, 2012b; EPE, 2014d; EPE, 2014e).

Refrigeração de Alimentos

Quanto ao uso final *Refrigeração de Alimentos*, dois tipos de equipamentos estão presentes na residência média brasileira: refrigerador e freezer. De acordo com os dados da PNAD 2005 (IBGE, 2013), 92,5% dos domicílios urbanos possuíam refrigeradores, enquanto apenas 63% dos domicílios rurais possuíam tal equipamento. Com relação a freezer, 24% dos domicílios urbanos possuíam este equipamento, ao passo que na região rural esse percentual caía para 17%.

De acordo com o PROCEL (2007), também em 2005, a posse média dos equipamentos por domicílio que possuía pelo menos uma unidade do equipamento era de aproximadamente 1 unidade. Espera-se que a posse média deste equipamento cresça até o ano de 2030 chegando a aumentar 104% e 100% respectivamente no caso dos domicílios urbanos e dos domicílios rurais. Ademais, haverá a tendência da redução do consumo anual de energia elétrica do estoque médio no Cenário do Plano Governamental, devido ao uso de equipamentos tanto mais eficientes como também de menor volume unitário. Isso se deve à tendência de cada vez existir mais domicílios habitados por uma só pessoa. Já, no caso do freezer, acredita-se que este equipamento passe a ser menos frequente nos domicílios brasileiros. Deste modo, espera-se que a posse média de freezer pelos domicílios brasileiros desça ao patamar de 15% em 2030.

Por fim, vale ainda ressaltar que neste Cenário do Plano Governamental considerou-se, para os refrigeradores, ganhos de eficiência energética anuais de 0,5% e para os freezers de 0,9%, adaptando as previsões da Nota Técnica 16/12 (EPE, 2012b). Estes ganhos de eficiência foram estipulados de modo a representar o consumo médio dos equipamentos divulgados no PNE 2030 (EPE, 2007) e no PNE 2050 (EPE, 2014e), assim como nos PDE 2021 (EPE, 2012a; EPE, 2012b), PDE 2022 (EPE, 2014a; EPE, 2014b) e PDE2023 (EPE, 2014c). Logo, no CPG, o consumo médio de um refrigerador médio passaria de 439 kWh/domicílio/ano (0,03775 tep/domicílio/ano) em 2005 para 308 kWh/domicílio/ano (0,02645 tep/domicílio/ano) em 2030. Por outro lado, o consumo médio de energia do equipamento freezer médio evoluiria de 570 kWh/domicílio/ano (0,04901 tep/domicílio/ano) em 2005 para 435 kWh/domicílio/ano (0,03742 tep/domicílio/ano) em 2030.

Condicionamento de Ambiente

No que se refere ao uso final *Condicionamento de Ambiente*, este se divide em dois equipamentos básicos: ar condicionado e ventilador.

Em 2005, 11% dos domicílios urbanos possuíam um aparelho de ar condicionado, segundo o PNE 2030 (EPE, 2007). Considerou-se que os domicílios rurais não possuíam aparelhos de ar condicionado devido à menor renda média nesta região.

O equipamento ventilador encontrava-se presente em 78% dos domicílios brasileiros (urbanos e rurais) em 2005, segundo a pesquisa amostral do PROCEL (2007). O consumo anual deste equipamento, que é ligado apenas em média nos 4 meses mais quentes do ano, é equivalente a 70 kWh/mês (0,006 tep/ano).

Para a evolução do consumo de energia referente ao uso final *Condicionamento Térmico*, estima-se que haveria um aumento significativo apenas na posse média de aparelhos de ar condicionado nos domicílios urbanos, continuando estável, portanto a posse média de ventiladores pelos domicílios. Desta forma, a posse média de aparelhos de ar condicionado nos domicílios urbanos chegaria a 50% em 2030, seguindo as tendências demonstradas por EPE (2007), EPE (2012a), EPE (2012b), EPE (2014a), EPE (2014b), EPE (2014c) e EPE (2014c) e EPE (2014e).

Neste CPG, também se considerou que os aparelhos de ar condicionado apresentariam ganhos de eficiência energética anuais de 0,7%, valor adaptado da Nota Técnica 16/12 (EPE, 2012b), de modo a obter um consumo médio por equipamento compatível com os descritos em EPE (2007), EPE (2012a),

EPE (2012b), EPE (2014a), EPE (2014b), EPE (2014c) e EPE (2014e). Portanto, o consumo médio anual de um equipamento médio de ar condicionado passaria de 615 kWh/domicílio/ano (0,05292 tep/domicílio/ano) em 2005 para 481 kWh/domicílio/ano (0,04139 tep/domicílio/ano) em 2030.

Aquecimento de Água

Juntamente com informações cedidas pelo PROCEL (2007), foram considerados os dados do PNE 2050 (EPE, 2014e) e do PDE 2021 (EPE, 2012a; EPE, 2012b) referentes ao consumo de energia e à posse de equipamentos dos domicílios para atender ao uso final aquecimento de água. Segundo o PROCEL (2007) 80,9 % dos domicílios urbanos brasileiros aqueciam água para banho no ano de 2005 utilizando chuveiro elétrico (90,85%), chuveiros a GLP (4,4%), a Gás Natural (4,4%) e até mesmo Termossolares (0,35%).

Já a posse de aquecedores de água pelos domicílios rurais foi estimada com base nos dados do PNE 2050 (EPE, 2014e) e do PDE 2021 (EPE, 2012a; EPE, 2012b) subtraindo as parcelas referentes aos domicílios urbanos. Como resultado, encontrou-se que apenas 70% dos domicílios rurais aqueciam água. Ademais, como na região rural não havia acesso à rede de gás natural, considerou-se que o aquecimento de água para banho era realizado apenas através de chuveiros elétricos (98%) e chuveiros a GLP (2%).

Na Tabela 5 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, é demonstrada a evolução da posse de equipamentos para aquecimento de água considerada neste estudo baseada em dados do PNE 2050 (EPE, 2014e) e do PDE 2021 (EPE, 2012a; EPE, 2012b).

Tabela 5. Estimativas da evolução da posse de aquecedores de água 2005-2030

Domicílios Urbanos				
	2005	2010	2020	2030
<i>Porcentagem de Domicílios Urbanos que Aquecem Água</i>	80,90%	80,90%	81,80%	82,60%
<u>Tipos de Aquecedores de Água</u>				
Chuveiro Elétrico	90,85%	88,10%	77,0%	62,5%
Aquecedor Termossolar	0,35%	3,90%	12,3%	19,0%
Aquecedor a Gás Natural	4,40%	4,80%	8,3%	18,0%
Aquecedor a GLP	4,40%	3,20%	2,4%	0,5%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Domicílios Rurais Eletrificados				
	2005	2010	2020	2030
<i>Porcentagem de Domicílios Rurais que Aquecem Água</i>	70,00%	70,00%	71,00%	72,00%
<u>Tipos de Aquecedores de Água</u>				
Chuveiro Elétrico	98,00%	98,00%	98,50%	99,00%
GLP	2,00%	2,00%	1,50%	1,00%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: Elaboração Própria com base no PNE 2050 (EPE, 2014e) e no PDE 2021 (EPE, 2012a; EPE, 2012b)

Contudo, é previsto ainda no CPG que 13,7% dos domicílios que aquecem água devem fazê-lo por meio do aquecedor termossolar em 2030, de acordo com a Nota Técnica 16/12 (EPE, 2012b) e o PNE 2050 (EPE, 2014e). Já analisando a base de dados da ABRAVA (2013), a posse média de aquecedores de água termossolares nos domicílios urbanos seria de aproximadamente 0,04 em 2010 e passaria para 0,19 em 2030. Ainda segundo a ABRAVA (2013), a maioria dos domicílios com aquecedor termossolar estaria concentrada na Região Sudeste da qual é importante destacar as cidades de Belo Horizonte e São Paulo. Na primeira, foi instituída a Lei nº 9.415/2007 que previa a criação de incentivos fiscais destinados a proprietários de edificações que como fonte para aquecimento de água utilizassem energia solar, GLP e gás natural; já na segunda cidade, encontra-se a Lei nº 14.459/2007 que estabelece a obrigatoriedade da instalação de sistemas de aquecimento de água por energia solar nos prédios novos que utilizam água quente e nas residências com 4 banheiros ou mais do município. Porém, os mesmos estudos (EPE, 2012b; ABRAVA, 2013), estimam ainda que haverá o crescimento da posse de aquecedores termossolares impulsionada principalmente pelo Programa Minha Casa Minha Vida e pelo Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

Ainda sobre o uso final *Aquecimento de Água*, é previsto também um aumento no consumo de gás natural pelos domicílios urbanos. Assim, foi previsto que a posse média de aquecedores de água a gás natural cresceria 0,03 em 2005 para 0,13 em 2030. Esta é uma estimativa adaptada da Nota Técnica 16/12 (EPE, 2012b) e do PNE 2050 (EPE, 2014e).

O consumo de energia de cada um dos tipos de aquecedores de água foi calculado com base em dados do EPE (2007) e CONPET (2013a), conforme discriminado na Tabela 6. É importante ainda ressaltar que neste cenário assumiu-se que os chuveiros elétricos presentes nas residências apresentariam aumentos anuais de consumo específico de 0,5%, como era previsto PDE 2023 (EPE, 2014c). Isso é esperado devido à aquisição de novos chuveiros elétricos de maior potência resultante da melhoria da renda média das famílias brasileira.

Tabela 6. Consumo de energia dos tipos de aquecedores de água – 2005

Tipo de Aquecedor de água	Consumo anual do aquecedor de água (tep)
Chuveiro Elétrico	0,05235
Aquecedor a Gás Natural	0,07800
Aquecedor a GLP	0,21000
Aquecedor Termo- Solar	0,01309

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2007) e CONPET (2013a).

Cocção de Alimentos

Com relação ao uso final *Cocção de Alimentos*, 98,5% dos domicílios urbanos possuíam fogão frente a 92,2% dos domicílios rurais que possuíam o mesmo equipamento, de acordo com dados da PNAD 2005 (IBGE, 2013). Utilizando os dados sobre a distribuição dos tipos de fogão da Nota Técnica 16/12 (EPE, 2012b) e do PNE 2050 (EPE, 2014e), considerou-se que os domicílios urbanos em 2005 só faziam uso de fogões a gás natural e a GLP². Enquanto que os domicílios rurais utilizavam lenha, carvão vegetal e GLP. É importante ainda frisar que nestas regiões mais afastadas dos grandes centros e do comércio há a tendência de a fonte energética mais utilizada na cocção ser a lenha, devido ao fato de poder ser recolhida nas proximidades sem custos para o consumidor (ACHÃO, 2003). Desta forma, considera-se que a lenha teria um papel ainda mais relevante para o uso cocção nos domicílios rurais não eletrificados, que provavelmente se encontram em locais de mais difícil acesso.

²É possível que alguma parcela destes domicílios utilizasse lenha e carvão vegetal para cocção, porém assumiu-se que esta era uma parcela não significativa.

Na Tabela 7, é demonstrada a evolução da posse de equipamentos para o uso final cocção de alimentos considerada neste estudo baseada em dados do PNE 2050 (EPE, 2014e) e do PDE 2021 (EPE, 2012a; EPE, 2012b).

Tabela 7. Estimativas da evolução da posse de fogões – 2005-2030

Domicílios Urbanos				
	2005	2010	2020	2030
<i>Porcentagem de Domicílios Urbanos que Possuem Fogão</i>	98,50%	98,94%	99,30%	99,50%
<u>Tipos de Fogão</u>				
Fogão a GLP	97,00%	96,06%	89,00%	84,00%
Fogão a Gás Natural	3,00%	3,94%	11,00%	16,00%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Domicílios Rurais Eletrificados				
	2005	2010	2020	2030
<i>Porcentagem de Domicílios Rurais que Possuem Fogão</i>	92,24%	94,15%	96,20%	97,00%
<u>Tipos de Aquecedores de Água</u>				
Fogão a GLP	13,00%	28,64%	53,15%	64,5%
Fogão à Lenha	80,00%	65,63%	43,00%	32,50%
Fogão a Carvão Vegetal	7,00%	5,73%	3,85%	3,00%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: Elaboração Própria com base no PNE 2050 (EPE, 2014e) e no PDE 2021 (EPE, 2012a; EPE, 2012b)

Quanto ao consumo energético referente à cocção, assumiu-se que os fogões a GLP e a gás natural eram utilizados cerca de 1 hora por dia durante todo o ano (PROCEL, 2013). Quanto aos consumos médios, estes foram estimados com base em LIQUIGÁS (2013), CONPET (2013), UHLIG (2008), UHLIG (2011) e REGUEIRA (2010) e se encontram descritos na Tabela 8.

Tabela 8. Consumo de energia pelos tipos de fogão – 2005

Tipo de Fogão	Consumo anual de fogão (tep)
Fogão a Gás Natural	0,05100
Fogão a GLP	0 12300
Fogão à Lenha	1,31990
Fogão a Carvão Vegetal	1,16400

Fonte: Elaboração própria a partir de CONPET (2013b), LIQUIGÁS (2013), UHLIG (2008), UHLIG (2011) e REGUEIRA (2010).

Ainda sobre o uso final *Cocção de Alimentos*, espera-se o aumento no consumo de gás natural nos domicílios urbanos e a substituição do consumo de lenha e carvão vegetal por GLP nos domicílios rurais. Já nos domicílios urbanos, a expectativa é de que irá aumentar a participação percentual dos domicílios que utilizam fogões a gás natural. Ademais, devido aos novos padrões de estilo de vida e à tendência da redução do número de pessoas por domicílio, espera-se que a posse média de microondas por domicílio urbano passe de 0,3 para 0,6, entre 2005 e 2030.

Outros Usos Finais

Por fim, o presente Cenário estima, com base na Nota Técnica 16/12 (EPE, 2012b), no PDE 2021 (EPE, 2012a), na Nota Técnica 10/14 (EPE, 2014b), no PDE 2022 (EPE, 2014a), no PDE 2023 (EPE, 2014c), no PNE 2030 (EPE, 2007) e no PNE 2050 (EPE, 2014e), que tende a crescer a posse média de outros usos em todo o território brasileiro. Segundo o PROCEL (2007), aproximadamente 44% dos domicílios brasileiros tinham algum equipamento do grupo *Outros Usos*, assumiu-se as posses médias de 50% e 40% para os domicílios urbanos e para os domicílios rurais eletrificados respectivamente. Já com relação ao consumo de energia elétrica por estes equipamentos incluídos na categoria *Outros Usos*, assumiu-se um consumo médio de 254 kWh/ano/domicílio (0,02185 tep/ano/domicílio) em 2005.

Considerou-se também que o consumo de energia elétrica dos equipamentos de *Outros Uso* também iria aumentar consideravelmente. Desta forma, em 2030, esta categoria seria responsável pelo consumo médio de 1512 kWh/domicílio ano (0,13 tep/domicílio/ano), equivalente ao consumo previsto pelo PNE 2030 (EPE, 2007). Adicionalmente, estima-se que todos os domicílios brasileiros passem a possuir equipamentos que compõem a categoria *Outros Usos*. Estas variações na posse e no consumo médio deste conjunto de equipamentos são compatíveis com as previsões da EPE para participação dos usos finais no consumo total de energia elétrica (EPE, 2007).

Segundo a EPE (2012b), a maior participação dos outros usos no consumo de energia elétrica dos domicílios é mais do que esperada, dado que esta categoria representava 45% do consumo de energia elétrica dos domicílios norte-americanos ainda em 2001 EIA (2001) ³ *apud* EPE (2012b), enquanto que no caso dos domicílios brasileiros em 2005 esta mesma categoria não chegava a responder nem por 20% do consumo total de energia elétrica. De acordo com o presente Cenário de Plano Governamental, a

³ EIA – Energy Information Administration. Residential Energy Consumption Survey [RECS]. Residential Consumption of Electricity by End Use, 2001. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/recs2001/enduse2001/enduse2001.html>>.

categoria *Outros Usos* seria responsável por 58% do consumo de energia elétrica médio de um domicílio.

1.2. Medidas de Mitigação já Incluídas no CPG

No Cenário de Plano Governamental, já são considerados os futuros ganhos de eficiência no consumo de energia dos eletrodomésticos já previstos pela EPE.

1.3. Resultados Finais

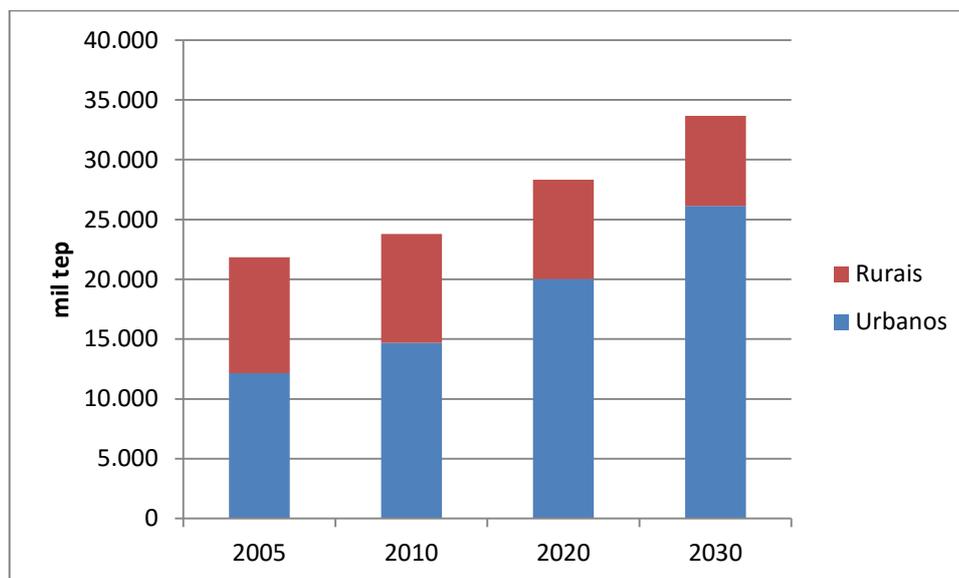
Nesta seção, estão apresentados os resultados encontrados através da modelagem feita no LEAP para estimar o Cenário do Plano Governamental para o consumo de energia no Setor Residencial brasileiro para o período 2005-2030. Como dito anteriormente, o Cenário do Plano Governamental estimado para este trabalho, além das mudanças nas variáveis demográficas previstas para o período, assume também as previsões de ganhos de eficiência energética divulgadas na Nota Técnica 16/12 (EPE, 2012b), no PDE 2022 (2014a), no PDE 2023 (2014c) e no PNE 2050 (EPE, 2014e).

Na Tabela 9 e na Figura 1, é possível ver como se comportaria, segundo o Cenário do Plano Governamental estimado neste trabalho, o consumo de energia no Setor Residencial brasileiro no período 2005 – 2030 seguindo a divisão entre domicílios urbanos e rurais.

Tabela 9. Estimativas do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por domicílios urbanos e domicílios rurais – CPG – 2005-2030

Domicílios	2005	2010	2020	2030
Urbanos	12.156	14.695	20.022	26.130
Rurais	9.672	9.101	8.310	7.541
TOTAL	21.828	23.796	28.332	33.671

Fonte: IES-Brasil (2015).



Fonte: IES-Brasil (2015).

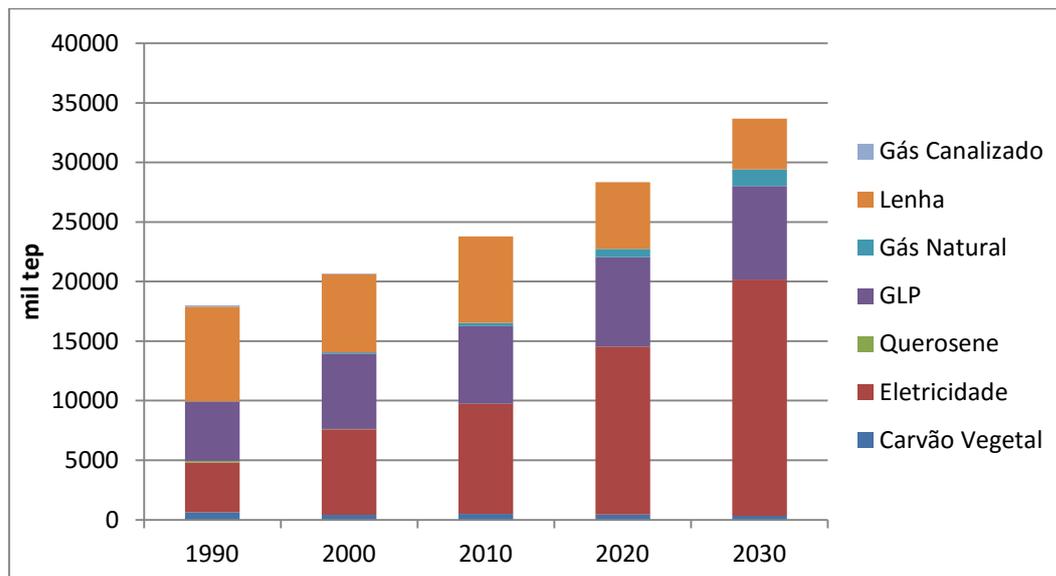
Figura 1. Consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por domicílios urbanos e rurais – CPG – 2005-2030

Já na Tabela 10 e na Figura 2, podemos visualizar como se comportaria, segundo o CPG estimado neste trabalho, o consumo de energia no Setor Residencial de 2005 a 2030, de acordo com os tipos de fonte energética: eletricidade, gás natural, GLP, querosene, lenha e carvão vegetal. É possível ainda verificar que há um aumento significativo na participação da energia elétrica no balanço energético referente ao consumo do Setor Residencial até o ano de 2030.

Tabela 10. Estimativas do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por fonte energética –CPG – 1990-2030

Fonte Energética	1990	2000	2005	2010	2020	2030
Carvão Vegetal	639	409	517	509	442	347
Eletricidade	4.184	7.188	7.156	9.220	14.110	19.829
Querosene	128	36	17	4	2	0
GLP	4.988	6.325	5.712	6.298	7.504	7.844
Gás Natural	4	100	191	255	672	1.386
Lenha	7.960	6.570	8.235	7.276	5.602	4.265
Gás Canalizado	91	60	0	0	0	0
TOTAL	17.994	20.688	21.828	23.562	28.332	33.671

Fonte: IES-Brasil (2015).



Fonte: IES-Brasil (2015).

Figura 2. Evolução do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por fonte – CPG – 1990-2030

É importante frisar que a modelagem conseguiu reproduzir a estrutura do consumo de energia total do Balanço Energético Nacional para os anos de 2005 e 2010 (Tabela 10), assim como que para os demais anos foi possível obter uma evolução para o consumo energético residencial por fontes, bastante semelhante à proposta no PNE 2050 (EPE, 2014e). Desta forma, cada domicílio seria responsável pelo consumo aproximado de energia de 413 tep em 2005. Em 2030, este consumo de energia médio por domicílio permanece relativamente estável (411 tep/domicílio).

Adicionalmente, este estudo conseguiu obter também uma composição do consumo de energia elétrica por uso final relativamente próxima à disponível no PNE 2030 (EPE, 2007) para o ano de 2005, como pode ser visto na Tabela 11 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na Tabela 12. Já quanto à projeção do consumo de energia elétrica pelas famílias para o ano de 2030, é possível perceber, também nas Tabela 11 e Tabela 12, que a expectativa para distribuição da mesma pelos usos finais sofreu alterações do PNE 2030 (EPE, 2007) para o PNE 2050 (EPE, 2014e). Apenas o uso final *Outros Usos* continua a apresentar uma projeção de consumo anual de energia elétrica em 2030 próxima à prevista pelo PNE 2030 (EPE, 2007).

Tabela 11. Comparação entre as participações dos usos finais no consumo de energia elétrica do Setor Residencial– 2005-2030

Usos Finais	Participação no Consumo de Energia Elétrica			
	LEAP		PNE 2030	
	2005	2030	2005	2030 *
Aquecimento de água	27%	14%	25%	26%
Condicionamento ambiental	4%	17%	3%	2%
Refrigeração de alimentos	32%	14%	34%	15%
Refrigerador	24%	11%	28%	-
Freezer	8%	2%	6%	-
Iluminação	22%	7%	21%	11%
Outros Usos	14%	58%	17%	46%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

Fonte: IES-Brasil (2015) a partir de EPE (2007).

* – Cenário Surfando na Marola (B1).

Tabela 12. Consumo médio mensal de energia elétrica pelos usos finais do Setor Residencial – 2005 -2030

Usos Finais	Consumo de Energia Elétrica (kWh/mês/domicílio)			
	LEAP		PNE 2030	
	2005	2030	2005	2030 *
Aquecimento de água	36	33	35	76
Condicionamento ambiental	15	18	4	6
Refrigeração de alimentos	42	32	47	44
Refrigerador	32	27	39	-
Freezer	11	5	8	-
Iluminação	29	16	29	32
Outros Usos	19	136	23	134
Total	131	234	138	291

Fonte: IES-Brasil (2015) a partir de EPE (2007).

* – Cenário Surfando na Marola (B1).

Na Tabela 13, é possível comparar os resultados obtidos no LEAP com os propostos pelo PNE 2050 (EPE, 2014e) para o ano de 2020 e 2030. Apesar de estes não serem idênticos, são bem próximos, demonstrando que o Cenário do Plano Governamental deste trabalho segue estimativas plausíveis.

Tabela 13. Comparação entre o CPG do LEAP e PNE 2050 para o consumo energético (mil tep) do Setor Residencial – 2020 e 2030

BALANÇO ENERGÉTICO							
Resultados	Eletricidade	GN	Querosene	GLP	Lenha	Carvão Vegetal	Total
LEAP para 2020	14.110	672	2	7.504	5.602	442	28.332
PNE 2050 para 2020	14.119	619	0	7.173	5.542	412	27.864
LEAP para 2030	19.829	1.386	0	7.844	4.265	347	33.671
PNE 2050 para 2030	19.700	1.395	0	7.846	4.415	336	33.692

Fonte: IES-Brasil (2015) a partir de EPE (2014a).

Por fim, na Tabela 14 é possível observar como evoluem as emissões de GEE referentes ao consumo de energia no Setor Residencial.

Tabela 14. Emissões totais (MtCO₂e) do Setor Residencial no CPG por fonte– 1990-2030

Fonte Energética	1990	2000	2005	2010	2020	2030
Carvão Vegetal	0,168	0,107	0,136	0,133	0,116	0,091
Eletricidade	1,757	5 679	5,367	7,569	10,469	21,312
Querosene	0,388	0,109	0,051	0,023	0,006	–
GLP	13,309	16,803	15,183	17,317	19,939	20,835
Gás Natural	0,009	0,237	0,452	0,604	1,587	3,275
Lenha	7,459	6,156	7,716	6,820	5,250	3,996
Gás Canalizado	0,215	0,142	–	–	–	–
Total	23,305	29,233	28,906	32,467	37,367	49,510
Carvão Vegetal	1,000	0,640	0,809	0,795	0,693	0,544
Eletricidade	1,000	3,231	3, 054	4,307	5,957	12,128
Querosene	1,000	0,281	0,133	0,058	0,017	–
GLP	1,000	1,262	1,141	1,301	1,498	1,565
Gás Natural	1,000	25, 000	47,750	63,839	167,634	345,979
Lenha	1,000	0,825	1,035	0,914	0,704	0,536
Gás Canalizado	1,000	0,659	–	–	–	–
TOTAL	1,0	1,3	1,2	1,4	1,6	2,1

Fonte: IES-Brasil (2015).

2. Cenários de Mitigação Adicional (MA)

Nos Cenários de Mitigação Adicional, foi considerado que todas as premissas do Cenário de Plano Governamental permaneceriam válidas, tanto no que tange às variáveis demográficas quanto ao consumo de energia para a maioria de seus usos finais. Desta forma, somente ocorrem mudanças entre o Cenário de Plano Governamental e os Cenários de Mitigação Adicional 1 e 2, referentes às medidas de mitigação simuladas que têm por objetivo reduzir o consumo de energia e consequentemente as emissões de CO₂. Estão incluídas no MA1, medidas com custo de abatimento até US\$20/tCO₂e e no MA2 medidas até US\$ 100/tCO₂e. Tais medidas, que serão descritas a seguir, estão baseadas no Estudo de Baixo Carbono desenvolvido pelo Banco Mundial (GOUVELLO, 2010).

a. Medidas consideradas nos MA

- Cocção – Padrão mais rígido de eficiência para fogões a GLP
- Aquecimento de água – Maior penetração de Aquecedores Termossolares
- Iluminação – Substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED
- Refrigeração de Alimentos – Padrão mais rígido de eficiência

b. Medidas sugeridas pelo CEC mas não modeladas

Todas as medidas sugeridas pelos membros do CEC foram modeladas.

2.1. Cenário de Mitigação Adicional 1 (MA1)

2.1.1. Medidas de mitigação já previstas no CPG cujo alcance foi ampliado

Cocção – Padrão mais rígido de eficiência para fogões a GLP

Padrões mais rígidos e obrigatórios de eficiência para os fogões a GLP foram adotados a partir de 2016. Foi previsto que esta tecnologia mais eficiente penetraria gradativamente nos domicílios brasileiros a partir de 2016, fazendo com que no Cenário de Mitigação Adicional 1 os queimadores dos fogões a GLP tivessem um ganho de eficiência superior à projeção do Cenário de Plano Governamental, para o ano de 2030. Em outras palavras, no Cenário de Plano Governamental o índice de eficiência dos queimadores evoluiria de aproximadamente 60% para 63%, significando que o estoque de equipamentos em 2030 em média seria considerado eficiente, segundo o selo CONPET (INMETRO, 2014). Já no Cenário de Mitigação

Adicional 1, tal índice de eficiência chegaria a 68%, que é equivalente ao tipo de fogão a GLP disponível atualmente no mercado com queimadores mais eficientes, segundo o INMETRO (2014). Ademais, o nível de eficiência de 68% foi levantado por PANTANGI et al. (2011) como sendo um dos mais altos possíveis de serem alcançados por queimadores de um fogão a GLP. Logo, esta medida de mitigação levaria à economia no consumo de GLP de aproximadamente 0,009 tep ao ano por fogão.

O consumo anual de energia dos fogões a GLP existentes e respectivos substitutos eficientes estão descritos na Tabela 15 e foram calculados com base nos índices de eficiência para queimadores do INMETRO (2014) e no estudo de Tinel & Ribeiro (2013). No entanto, não foi possível determinar preços relativos entre os dois tipos de fogão, dado que a variável eficiência ainda não se caracteriza como significativa para a determinação do preço destes equipamentos, como mostrou Mendonça et al. (2008).

Tabela 15. Consumo médio de GLP dos fogões (tep/ano)

Equipamentos	Consumo de Energia em 2030 (tep/ano/domicílio)
Fogão Médio a GLP existente	0,1170
Fogão Médio a GLP eficiente	0,1083

Fonte: IES-BR (2015) com base em MELO (2009), CARDOSO(2008) e GOUVELLO(2009).

2.1.2. Novas medidas de mitigação

Não foram consideradas novas medidas de mitigação neste cenário.

2.1.3. Resultados do MA1

Como foi dito, os dois Cenários de Mitigação Adicional deste estudo assumem as premissas do CPG e propõem algumas outras medidas de eficiência energética mais eficazes, substitutas ou complementares. A maioria das medidas de eficiência proposta nos Cenários de Mitigação Adicional foi adaptada do Estudo de Baixo Carbono para o Brasil do Banco Mundial (GOUVELLO, 2010).

Na Tabela 16 pode-se observar a nova matriz energética resultante da aplicação das medidas de mitigação do MA1.

Tabela 16. Estimativas do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por fonte – MA1 – 1990-2030

Fonte Energética	1990	2000	2005	2010	2020	2030
Carvão Vegetal	639	409	517	508	442	347
Eletricidade	4.184	7.188	7.156	9.231	14.110	19.829
Querosene	128	36	17	7	2	0
GLP	4.988	6.325	5.712	6.516	7.255	7.270
Gás Natural	4	100	191	256	672	1.386
Lenha	7.960	6.570	8.235	7.278	5.602	4.265
Gás Canalizado	91	60	0	0	0	0
TOTAL	17.994	20.688	21.828	23.796	28.083	33.097

Fonte: IES-BR (2015)

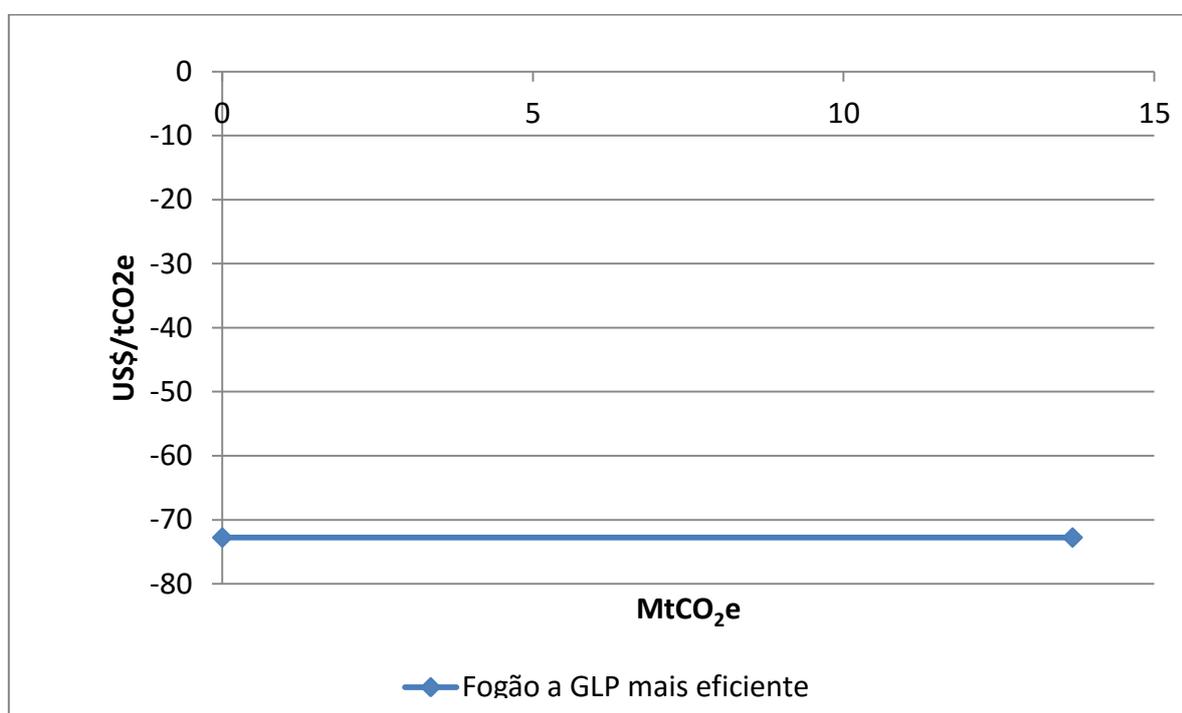
Na Tabela 17 é possível verificar as emissões do MA 1 expressas em tCO₂e referente ao consumo energético total do Setor Residencial ao longo do período de cenário.

Tabela 17. Emissões (Mt CO₂e) relativas ao consumo energético total do Setor Residencial – MA1 – 1990-2030

Fonte Energética	1990	2000	2005	2010	2020	2030
Carvão Vegetal	0,168	0,107	0,136	0,133	0,116	0,091
Eletricidade	1,757	5,679	5,367	7,569	10,469	21,312
Querosene	0,388	0,109	0,051	0,023	0,006	–
GLP	13,309	16,803	15,183	17,317	19,316	19,310
Gás Natural	0,009	0,237	0,452	0,604	1,587	3,275
Lenha	7,459	6,156	7,716	6,820	5,250	3,996
Gás Canalizado	0,215	0,142	–	–	–	–
TOTAL	23,305	29,233	23,539	32,008	36,744	47,984
Carvão Vegetal	1,000	0,640	0,809	0,795	0,693	0,544
Eletricidade	1,000	3,231	3,054	4,307	5,957	12,128
Querosene	1,000	0,281	0,133	0,058	0,017	–
GLP	1,000	1,262	1,141	1,301	1,451	1,451
Gás Natural	1,000	25,000	47,750	63,839	167,634	345,979
Lenha	1,000	0,825	1,035	0,914	0,704	0,536
Gás Canalizado	1,000	0,659	–	–	–	–
TOTAL	1,0	1,3	1,0	1,4	1,6	2,1

Fonte: IES-BR (2015).

No que se refere a custos, para cada medida de mitigação, foi calculado o custo anual equivalente a cada tonelada de CO₂e evitada, baseado em Gouvello (2010, p.157). Na Figura 3, é possível observar a curva de custo marginal de abatimento para o MA1 onde se encontra a única medida identificada com custo marginal de abatimento até US\$ 20. Trata-se da implementação de um padrão de eficiência mais rígido para os queimadores dos fogões a GLP que se caracteriza como a medida de eficiência energética analisa de menor custo.



Fonte: IES-BR (2015).

Nota: valores constantes para o ano de 2005.

Figura 3. Curva de Custo Marginal de Abatimento do Setor Residencial –MA1 em relação ao CPG (US\$/tCO₂ evitado)

2.2. Cenário de Mitigação Adicional 2 (MA2)

2.2.1. Medidas de mitigação já previstas no MA1 cujo alcance foi ampliado.

Aquecimento de água – Maior penetração de Aquecedores Termossolares

Incentivo à maior participação dos aquecedores solares (SAS) no uso *aquecimento de água* dos domicílios brasileiros, já que no CPG e, conseqüentemente no MA1, está previsto que 13,7% dos domicílios brasileiros fariam uso do aquecedor termossolar em 2030. No MA2, esta medida já estaria prevalecendo a partir de 2015, representando até 2030, 20% do uso *aquecimento de água*. Estima-se que o SAS como um substituto do chuveiro elétrico, seja por responsável em média por uma economia de 75% no consumo de energia elétrica frente o chuveiro elétrico (EPE, 2012b; GOUVELLO, 2010).

Esta medida prevê que um maior número de cidades brasileiras siga o exemplo de São Paulo e Belo Horizonte, no que tange à instituição de leis que garantem incentivos fiscais às edificações que utilizam aquecedores solares para ao aquecimento de água ou mesmo que estabeleçam sua obrigatoriedade. Já vem sendo registrados avanços legislativos em Goiânia, Vitória, Rio de Janeiro e Birigui-SP, entre 2008 e 2012. Ademais, espera-se também que haja o crescimento da posse de aquecedores termossolares devido à continuidade do Programa Minha Casa Minha Vida e do Programa de Eficiência Energética da ANEEL (EPE, 2012b; ABRAVA, 2013). Na Tabela 18, estão apresentados os valores considerados na modelagem.

Tabela 18. Preço médio e consumo médio de energia elétrica dos aquecedores de água

Equipamentos	Preço Unitário(R\$ 2005)	Consumo do Estoque em 2030 (kWh/ano/domicílio)
Chuveiro Elétrico	33,49	673
Aquecedor Termossolar (SAS)	1.674,48 (1.255,86 do aparelho + 418,62 da instalação)	152

Fonte: IES-BR (2015) com base em MELO (2009), CARDOSO (2008) e GOUVELLO (2009).

2.2.2. Novas medidas de mitigação

Refrigeração de Alimentos – Padrão mais rígido de eficiência

Adoção de padrões mais rígidos e obrigatórios de eficiência para as geladeiras a partir de 2016. Tal medida se baseia em padrões de eficiência dos EUA, como foi proposto em Gouvello (2010). Foi previsto que esta tecnologia penetraria gradativamente nos domicílios brasileiros, chegando a representar 30% do estoque de geladeiras em 2030 no Cenário de Mitigação Adicional 2. Estes refrigeradores responsáveis por um menor consumo de energia não foram considerados no Cenário de Plano

Governamental, dado que seu consumo médio não condizia com a previsão da EPE (2014a) para o consumo médio do estoque de refrigeradores domiciliares.

Tanto os preços quanto o consumo anual de energia elétrica dos refrigeradores existentes e respectivos substitutos eficientes foram calculados a partir de uma média ponderada com bases nos tipos de equipamentos presentes nos domicílios brasileiros descritos em Melo (2009) e Cardoso (2008). Estes são descritos na Tabela 19.

Tabela 19. Preço médio e consumo médio de energia elétrica dos refrigeradores

Equipamentos	Preço Unitário(R\$ 2005)	Consumo do Estoque em 2030 (kWh/ano/domicílio)
Refrigerador Médio existente	1.219,02	355
Refrigerador Médio eficiente	1.465,17	264

Fonte: IES-BR (2015) com base em MELO (2009), CARDOSO (2008) e GOUVELLO (2009).

Iluminação – Substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED

Introdução de lâmpadas LED a partir de 2021. Esta tecnologia penetraria gradativamente nos domicílios brasileiros, chegando em 2030 a representar 30% das lâmpadas no MA2. Esta maior participação das lâmpadas LEDs é citada em IEA (2014), DEFRA (2014) e Energy Saving Trust (2014) como uma das formas de reduzir o consumo de energia elétrica pelo uso final *iluminação*. As lâmpadas LED não foram consideradas já no CPG devido ao seu alto custo e também ao fato de que esta tecnologia ainda não se encontra consolidada para uso generalizado nos domicílios (DEFRA, 2014).

Foram mantidas a intensidade de utilização considerada no CPG e a posse média de 8 lâmpadas por domicílio proposta pelo PROCEL (2007) e pelos estudos da EPE (EPE, 2012a; EPE, 2012b; EPE, 2014a; EPE, 2014b). Logo, estimou-se que os domicílios que fizessem a troca deste equipamento apresentariam, em 2030, 8 lâmpadas LED (4 lâmpadas de 11W e 4 de 8W) ao invés das convencionais 8 lâmpadas fluorescentes (4 lâmpadas de 15W e 4 de 11W) como no CPG. É importante mencionar que tanto a lâmpada fluorescente compacta de 15W e a lâmpada LED de 11W são equivalentes a uma lâmpada incandescente de 60W, enquanto que a lâmpada fluorescente compacta de 11W e a lâmpada LED de 8W equivalem a uma lâmpada incandescente de 40W.

Por fim, na Tabela 20, encontram-se os preços médios e os consumos médios de energia elétrica dos tipos de lâmpada utilizados no Cenário de Mitigação Adicional 2. Estes preços foram determinados através de pesquisas de mercado atuais.

Tabela 20. Preço médio e consumo médio de energia elétrica das lâmpadas

Equipamentos	Preço Unitário (R\$ 2005)	Consumo do Estoque em 2030 (kWh/ano/domicílio)
Lâmpada Incandescente	3,14	576
Lâmpada Fluorescente	10,05	150
Lâmpada LED	39,84	110

Fonte: IES-BR (2015)

2.2.3. Resultados do MA2

Como foi dito anteriormente, os dois Cenários de Mitigação Adicional deste estudo assumem as projeções previstas no Cenário de Plano Governamental e propõem algumas outras medidas de eficiência energética mais eficazes, substitutas ou complementares. A maioria das medidas de eficiência propostas nos Cenários de Mitigação Adicional foi adaptada do Estudo de Baixo Carbono para o Brasil do Banco Mundial (GOUVELLO, 2010). É importante frisar que todas as reduções no consumo energético entre os cenários se deram apenas pela redução do consumo de energia resultante das medidas de mitigação.

A Tabela 21 apresenta a nova demanda energética do setor, em razão das medidas implementadas no cenário MA2.

Tabela 21. Estimativas do consumo de energia (mil tep) do Setor Residencial por fonte –MA2 – 1990-2030

Fonte Energética	1990	2000	2005	2010	2020	2030
Carvão Vegetal	639	409	517	508	442	347
Eletricidade	4.184	7.188	7.156	9.231	13.970	19.389
Querosene	128	36	17	7	2	0
GLP	4.988	6.325	5.712	6.516	7.255	7.270
Gás Natural	4	100	191	256	672	1.386
Lenha	7.960	6.570	8.235	7.278	5.602	4.265
Gás Canalizado	91	60	0	0	0	0
TOTAL	17.994	20.688	21.828	23.796	27.943	32.657

Fonte: (IES-BR, 2015)

Na Tabela 22, é possível ver como se comportariam as emissões no Cenário de Mitigação Adicional 2, até 2030.

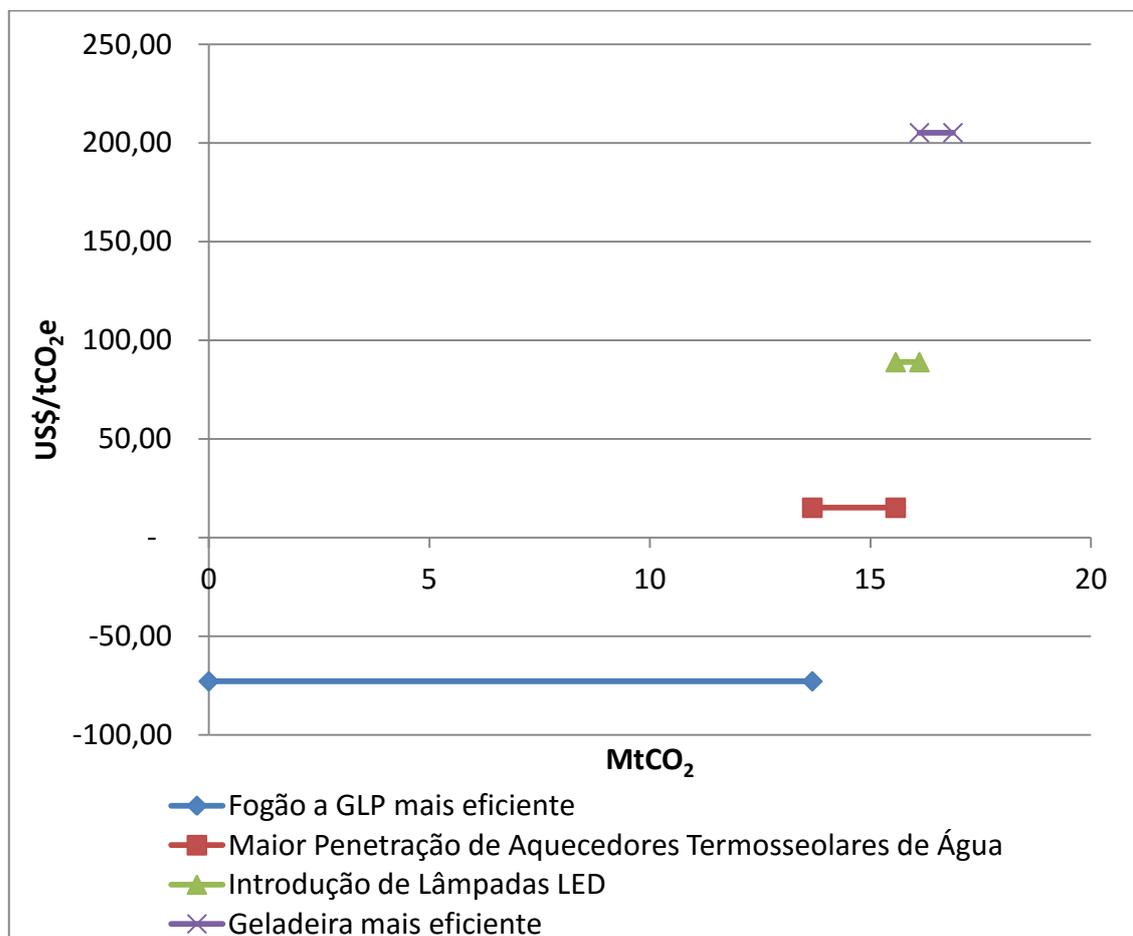
Tabela 22. Estimativa de emissões (MtCO₂e) do Setor Residencial – MA2 – 1990-2030

Fonte Energética	1990	2000	2005	2010	2020	2030
Carvão Vegetal	0,168	0, 107	0,136	0,133	0,116	0,091
Eletricidade	1,757	5,679	5,367	7,569	10,365	20,839
Querosene	0,388	0,109	0,051	0,023	0 006	–
GLP	13,309	16,803	15,183	17,317	19,316	19,310
Gás Natural	0,009	0,237	0,452	0,604	1,587	3,275
Lenha	7,459	6,156	7,716	6,820	5,250	3,996
Gás Canalizado	0,215	0,142	–	–	–	–
Total	23,305	29,233	23,539	32, 008	36,641	47,511
Carvão Vegetal	1,000	0,640	0,809	0,795	0,693	0,544
Eletricidade	1,000	3,231	3,054	4,307	5,898	11,858
Querosene	1,000	0,281	0,133	0,058	0,017	–
GLP	1,000	1,262	1,141	1,301	1,451	1,451
Gás Natural	1,000	25,000	47,750	63,839	167,634	345,979
Lenha	1,000	0,825	1,035	0,914	0,704	0,536
Gás Canalizado	1,000	0,659	–	–	–	–
Total	1,0	1,3	1,0	1,4	1,6	2,0

Fonte: IES-BR (2015).

Como mencionado, a análise dos custos é baseada na proposta por Gouvello (2010, p.157). Desta forma, para cada medida de mitigação, foi calculado o custo anual equivalente de cada tonelada de CO₂e evitada, compondo uma curva de custos marginais de abatimento.

Na Figura 4, é possível observar a curva de custo marginal de abatimento para o Cenário de Mitigação Adicional 2, que inclui a medida de mitigação do MA1. A medida que prevê maior penetração de aquecedores termossolares de água é a que se mostrou de menor custo. Em seguida, tem-se a introdução das lâmpadas LED nos domicílios. Por fim, a adoção de padrões mais rígidos de eficiência para os refrigeradores foi a única medida a apresentar um custo por tonelada de CO₂ evitado muito alto, mostrando-se, portanto, inviável de ser implementada mesmo que no Cenário de Mitigação Adicional 2, cujo valor máximo da medida considerada é de US\$100/tCO₂e.



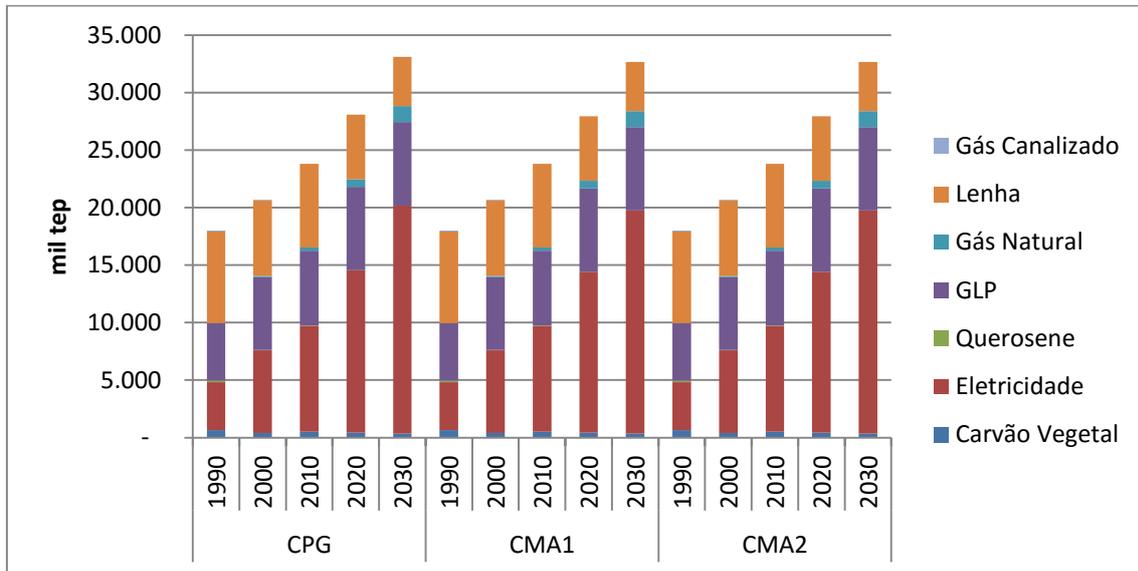
Fonte: IES-BR (2015).

Nota: valores constantes para o ano de 2005.

Figura 4. Curva de custo marginal de abatimento do Setor Residencial- MA2 em relação ao CPG (US\$/tCO₂ evitado)

3. Comparação entre os Cenários

Na Figura 5, é possível verificar a evolução do consumo energético referente ao Setor Residencial no Cenário de Plano Governamental (CPG), no Cenário de Mitigação Adicional 1 (MA1) e no Cenário de Mitigação Adicional 2 (MA2). Como pode se observar, nos três cenários, a estrutura da matriz energética apresentou comportamentos semelhantes. No MA1, ocorre uma pequena redução do consumo de GLP em relação ao CPG, devido à medida que prevê maior eficiência nos queimadores dos fogões a GLP. Já no MA2, é prevista, além da redução do consumo de GLP, uma queda no consumo de eletricidade em relação ao CPG, devido à maior penetração de aquecedores termossolares e à substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED.

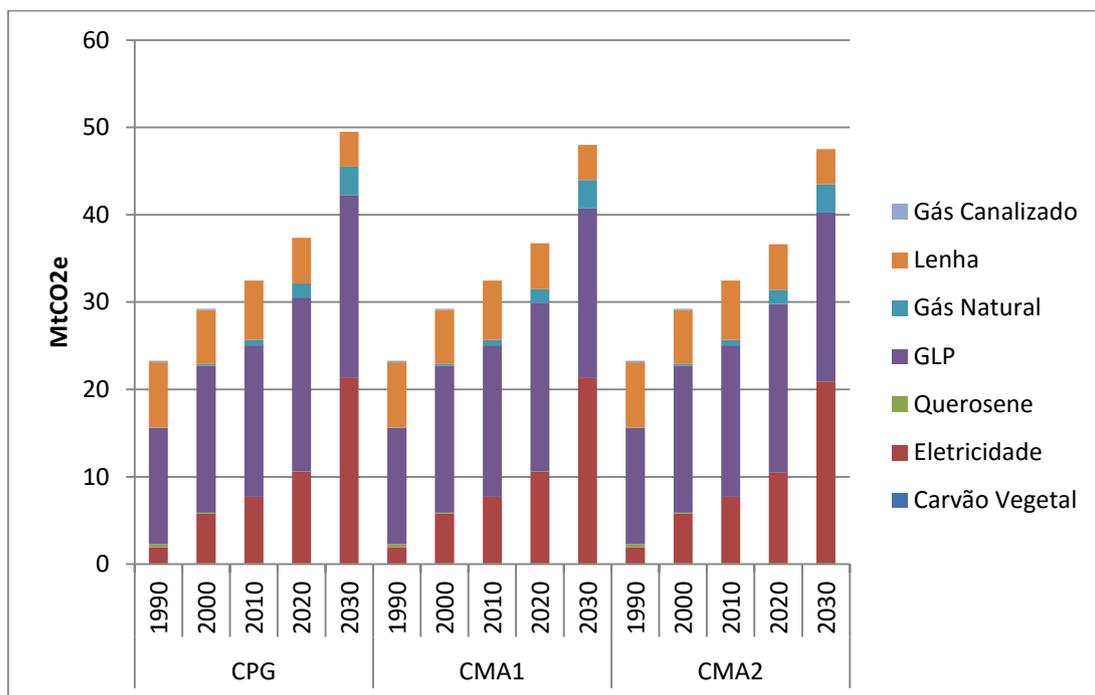


Fonte: IES-BR (2015).

Figura 5. Evolução do consumo energético (mil tep) no Setor Residencial nos cenários CPG, MA1 e MA2 – 1990-2030

Na Figura 6, pode-se visualizar a evolução das emissões referentes ao Setor Residencial nos três cenários. Como as emissões se referem ao consumo de energia do Setor Residencial, as únicas mudanças verificadas entre os cenários dizem respeito à redução do consumo de GLP e de eletricidade resultantes das medidas de mitigação propostas neste estudo.

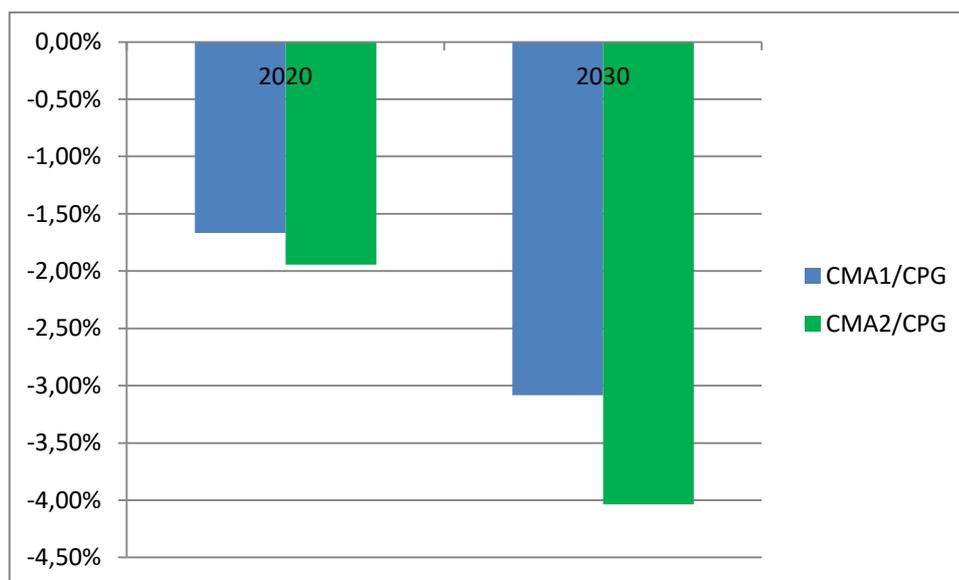
No MA1 em relação ao CPG, temos o potencial de reduzir as emissões em 1,67% em 2020 e em 3,08% em 2030 (Figura 7). Já comparando o MA2 com o CPG, o potencial de mitigação aumenta para 1,94% em 2020 e 4,04% em 2030 (Figura 7).



Fonte: IES-BR (2015)

Nota: Na totalização dos valores do presente estudo, as emissões de eletricidade estão computadas no capítulo de oferta de energia

Figura 6. Evolução das emissões (MtCO₂e) no Setor Residencial nos cenários CPG, MA1 e MA2 – 1990-2030



Fonte: IES-BR (2015)

Figura 7. Variação das emissões do Setor Residencial (%) nos Cenários de Mitigação Adicional em relação ao Cenário de Plano Governamental

4. Aspectos Socioeconômicos

A medida de mitigação referente a um padrão mais rígido de eficiência para fogões a GLP, por ter um custo negativo, faria com que o Setor Residencial economizasse, ao longo do período 2015-2030, R\$ 2,4 bilhões (em valores de 2005), contando os custos com investimento e com o pagamento de fatura de consumo de GLP. Esta redução do gasto familiar com a compra de GLP é muito benéfica, por amenizar o peso dos gastos com cocção sobre o orçamento das famílias.

As outras duas medidas de mitigação, maior penetração de aquecedores termossolares e substituição progressiva de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, apresentam custo do investimento superior ao custo operacional que seria economizado com a redução do consumo elétrico (custo positivo), requerendo para sua implantação, algum tipo de incentivo econômico ou imposição do tipo comando & controle. Poderia ser concedido algum subsídio às lâmpadas LED de forma a torná-las mais baratas, assim como poderia ser incentivada uma maior disseminação de projetos de leis que exigissem a existência de aquecedores termossolares nos prédios e residências, como já existe em algumas cidades brasileiras.

Ademais, seria interessante considerar também a possibilidade de serem desenvolvidos programas de troca de equipamentos antigos por equipamentos mais novos e mais eficientes, cujo público alvo seria a população com poder aquisitivo mais baixo e pertencente ao cadastro único. Esta medida asseguraria que as famílias contempladas passassem a possuir eletrodomésticos mais eficientes. Com base em experiências anteriores (como a executada pela Light nas favelas do Rio de Janeiro para amenizar a incidência de furtos de luz), sugere-se que o governo poderia através desta medida propor às famílias de baixa renda a troca de lâmpadas e refrigeradores. Contudo, após os resultados obtidos neste estudo, acredita-se que esta medida também seria compatível e favorável para a troca de fogões, caso o Governo tenha como objetivo reduzir o nível de emissões referentes ao Setor Residencial.

Outra iniciativa possível de ser posta em prática diria respeito ao Programa do Minha Casa Melhor, promovido pelo Governo Federal juntamente com a Caixa Econômica Federal. Atualmente, este programa facilita⁴ a compra de móveis e eletrodomésticos pelas famílias que participam do Programa Minha Casa Minha Vida. O programa Minha Casa Melhor exige que os eletrodomésticos comprados

⁴A família que possui o cartão Minha Casa Melhor, tem acesso a até R\$ 5 mil de crédito para comprar móveis e eletrodomésticos. A própria família escolhe os produtos na loja licenciada e compra os mesmos pelo preço à vista com direito a, no mínimo, 5% de desconto. Posteriormente, ela vai quitando o valor da fatura junto a Caixa Econômica Federal, em um prazo de até 48 meses.

pelos por famílias contempladas possuam o selo de eficiência PROCEL e que estejam dentro de uma certa faixa de preço. Fazem parte deste programa, os seguintes eletrodomésticos: refrigerador, fogão, microondas, máquina de lavar roupas e TV digital.

Referências Bibliográficas

ABRAVA. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Revista *Abrava*, n. 16, maio 2013. Disponível em: <http://www.abrava.com.br> Acessado em: 1º de julho de 2014.

ACHÃO, C.C.L.. *Análise da estrutura de consumo de energia pelo Setor Residencial brasileiro*. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2003.

CARDOSO, R. B.. *Avaliação da Economia de Energia atribuída ao Programa Selo Procel em Freezers e Refrigeradores*. Itajubá: UNIFEI. 2008.

CONPET. *Consulta de Aquecedores de Água a Gás, Fogões e fornos a Gás – Programa Brasileiro de Etiquetagem*. Disponível em: <http://consultaaquecedores.petrobras.com.br/Forms/TabelaConsumo.aspx>. Acessado em: 20 de dezembro de 2013.

DEFRA. *Saving Energy Through Better Products and Appliances A report on analysis, aims and indicative standards for energy efficient products 2009 – 2030*. 2009. Disponível em: <http://archive.defra.gov.uk/environment/economy/documents/energy-products-1209.pdf>. Acessado em 8 de agosto de 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Plano Nacional de Energia 2030*. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia – MME. 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2012-2021*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2012a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Nota Técnica DEA 16/12: Avaliação da Eficiência energética para os próximos 10 anos (2012-2021): Estudos de Demanda*. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2012b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanco Energético Nacional 2013- Ano Base 2012*. Rio de Janeiro, EPE, Ministério das Minas e Energia. 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2013-2022*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2014a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Nota Técnica DEA 10/14: Consumo de Energia no Brasil: Análises Setoriais*. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2014b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2014-2023*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2014c.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Nota Técnica DEA 12/14: Cenário Econômico 2050*. Série Estudos Econômicos. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2014d.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Nota Técnica DEA 13/14 : Demanda de Energia 2050*. Série Estudos da Demanda de Energia. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2014e.

GOUVELLO, C. *Estudo de baixo carbono para o Brasil*. Washington. Estados Unidos: Banco Mundial. 2010.

HEAPS, C.. *Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) System*. [Software version 2012.0049]. Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA. Disponível em: <http://www.energycommunity.org> Acessado em: Setembro de 2013.

IEA. *Energy Technology Perspectives 2014 – Harnessing Electricity's Potential*. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. *Tabela de consumo/eficiência energética do Selo CONPET de Eficiência Energética para fogões*. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Jan, 2014 .

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – Dados do Sidra*. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/default.asp>. Acessado em: 12 de dezembro de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Projeção da População do Brasil por sexo e idade: 2000-2060*. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2013/ Acessado em: 12 de março de 2014.

IPEADATA. Dados Sociais Demográficos. Disponível em: www.ipeadata.gov.br Acessado em: 29 de março de 2015.

JANUZZI, G. SWISHER, J. *Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis*. Campinas: Autores Associados. 1997.

LIQUIGAS. *Perguntas Frequentes – Questionamentos Técnicos*. Disponível em: [http://www.liquigas.com.br/wps/portal!/ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hvPwMjIw93IwN_Cy9TAyM_L6_AAPN_AI39zE_2CbEdFAPmfWrg!/>](http://www.liquigas.com.br/wps/portal!/ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hvPwMjIw93IwN_Cy9TAyM_L6_AAPN_AI39zE_2CbEdFAPmfWrg!/) Acessado em: 29 de dezembro de 2013.

MELO, C. A. *Metodologia de Avaliação de Impactos de Padrões de Eficiência Energética*. Tese de doutorado em andamento. Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas – Brasil, 2009.

MENDONÇA, M. J, COUTINHO, M, SCHAEFFER, R, COHEN, C. *Projeto Elaboração de Ferramenta Computacional para Estimar Consumo e Potencial de Conservação de Energia Elétrica em Comunidades de Baixo Poder Aquisitivo*. XVII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Olinda: SENDI, outubro, 2008.

PANTANGI, V. K.; MISHRA, S. C.; MUTHUKUMAR, P.; REDDY, R. Studies on porous radiant burners for LPG (liquefied petroleum gas) cooking applications. *Energy*, v. 36, p. 6074-6080, 2011.

PROCEL. *Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano base 2005*. Classe Residencial, Relatório Brasil. Rio de Janeiro: Eletrobrás. 2007.

PROCEL. *Tabela de estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos de acordo com um uso hipotético*. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/elb/main.asp?TeamID=%7B32B00ABC-E2F7-46E6-A325-1C929B14269F%7D> Acessado em: 29 de dezembro de 2013.

REGUEIRA, T. M. *Comparação entre a eficiência de dois modelos de fogão a lenha e seus impactos sobre o desmatamento da caatinga*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco/Centro de Ciências Biológicas. 2010.

SERPA, P. M. N. *Eletrificação Fotovoltaica em comunidade caiçaras e seus impactos socioculturais*. São Paulo: USP/Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. 2001.

TINEL, F. P.; RIBEIRO, J. A. Estudo sobre a Eficiência dos Fogões a Gás, Elétrico Resistivo e Elétrico Indutivo. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*, v. 9, n. 1, junho, 2013.

UHLIG, A. Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimação do consumo. Universidade de São Paulo. Programa interunidades de pós-graduação em energia. São Paulo. 2008.

UHLIG, A. Lenha e Carvão Vegetal no Brasil: Métodos para estimação do consumo e balanço oferta-demanda. 2011.

ANEXO METODOLÓGICO

Segundo Januzzi & Swisher (1997), a demanda final total anual de energia direta de um equipamento, associado a um determinado uso final de um domicílio, deve ser calculada levando em consideração a posse média deste equipamento, o tempo médio de uso por dia, a quantidade média de dias por mês que é utilizado, a quantidade média de meses por ano que é utilizado e a potência média do tipo de equipamento.

Na Equação 1 e na Equação 2, é possível vislumbrar como Januzzi & Swisher (1997) estimam o cálculo da demanda final total anual de energia direta para o Setor Residencial (E_R):

$$E_R = \sum_{i=1}^{i=n} E_R^i \quad (1)$$

Em que E_R^i = consumo específico médio do uso final i no Setor Residencial;

i = iluminação, refrigeração; aquecimento de água; condicionamento de ar; cocção de alimentos; outros usos.

Sendo o consumo específico médio do uso final i no Setor Residencial (E_R^i) é calculado do seguinte modo:

$$E_R^i = \sum_{j=1}^{j=n} N_i \cdot P_i^j \cdot M_i^j \cdot I_i^j \quad (2)$$

Em que N_i = número total de domicílios com uso final i ;

P_i^j = posse média de equipamento j por domicílio com uso final i ;

M_i^j = número médio de meses em que o equipamento j do uso final i é utilizado no ano por um domicílio;

I_i^j = intensidade energética média mensal ou consumo específico de energia médio mensal do equipamento j do uso final i por domicílio.

O modelo de estimação da demanda final de energia direta pelo Setor Residencial proposto por Januzzi & Swisher (1997) foi desenvolvido no programa paramétrico de simulação Long Range Energy Alternatives Planning System (HEAPS, 2013). Mais popularmente conhecido como LEAP, este programa, devido à sua estrutura própria, facilitou a organização e a realização de estudos de demanda complexos como a construção de cenários para o consumo de energia direta do Setor Residencial brasileiro.

A Tabela 23 resume os custos e o potencial de mitigação da medida de mitigação “padrão de eficiência mais rígido para os queimadores dos fogões a GLP” considerada no Cenário de Mitigação Adicional 1.

Tabela 23. Custos e potencial de mitigação das medidas do MA1 em relação ao CPG

Medida	Potencial unitário de mitigação	Custo unitário de mitigação	Potencial de mitigação em 2030	Potencial de mitigação no período (2010-2030)	Custo total de mitigação no período (2010-2030)
	tCO ₂ e/ktep	US\$/tCO ₂ e	MtCO ₂ e evitadas	MtCO ₂ e evitadas	US\$ (milhão)
Padrão mais rígido de eficiência para fogões a GLP	2,63	(72,76)	1,511	13,682	(995,552)

Fonte: IES-BR (2015)

Nota: US\$ de 2005

A Tabela 24 resume os custos e o potencial de mitigação das medidas de mitigação “Maior penetração de aquecedores termossolares”, “Substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED” e “Padrão mais rígido de eficiência para geladeiras” consideradas no Cenário de Mitigação Adicional 2. Como é possível ver, a medida “Padrão mais rígido de eficiência para geladeiras” foi a única considerada inviável por apresentar custo unitário de mitigação superior a \$ 100.

Tabela 24. Custos e Potencial de Mitigação das Medidas do MA2 em Relação ao CPG

Medida	Potencial unitário de mitigação	Custo unitário de mitigação	Potencial de mitigação em 2030	Potencial de mitigação no período (2010-2030)	Custo total de mitigação no período (2010-2030)
	tCO ₂ e/ktep	US\$/tCO ₂ e	MtCO ₂ e evitadas	MtCO ₂ e evitadas	US\$ (milhão)
Padrão mais rígido de eficiência para fogões a GLP	2,63	(72,76)	1,511	13,682	(995,552)
Maior penetração de Aquecedores Termossolares	7,96	15,19	1,070	1,889	28,700
Substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED	5,05	89,00	0,481	0,538	47,903
Padrão mais rígido de eficiência para Geladeiras	7,9	205,26	0,434	0,761	156,135

Fonte: IES-BR (2015).

Nota: US\$ de 2005