

# **Impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial<sup>1</sup>**

Micaele Martins de Carvalho<sup>2</sup>

Aline Souza Magalhães<sup>3</sup>

Edson Paulo Domingues<sup>4</sup>

**Resumo:** O Brasil, especialmente o Estado de Minas Gerais, apresenta enorme potencial de aproveitamento de energia solar. Assim, o presente artigo analisa os impactos econômicos de uma ampliação do uso de energia solar pelas famílias mineiras através do modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) denominado IMAGEM-MG. Foi utilizado um conjunto de 10 famílias representativas, divididas por classes de rendimento, o que tornou possível comparar as mudanças no padrão de consumo entre diferentes classes decorrentes da adoção da energia solar. Realizou-se uma análise de viabilidade técnica e econômica para determinar as condições para adoção de energia solar, através de dois cenários distintos: adoção de painéis fotovoltaicos para geração distribuída de eletricidade e adoção de sistemas de aquecimento de água residencial. Os resultados mostram que a adoção de painéis fotovoltaicos gera impactos setoriais distintos da adoção de aquecedores solares devido à composição do consumo das famílias que adotam cada tecnologia.

**Palavras-Chave:** Energia Solar, Equilíbrio Geral Computável, Painéis Fotovoltaicos, Aquecedores Solares.

**Abstract:** In Brazil, more specifically in Minas Gerais, there is an enormous solar energy exploitation potential. Therefore, this article analyzes the economic impacts of the broadening of solar energy use by the mineiras families, through the computable general equilibrium (CGE) model named IMAGEM-MG. A set of 10 representative families were investigated, divided by yield classes, which made it possible to compare the consumption pattern changes between different classes due to the adoption of solar energy. A technical and economic feasibility analysis was carried out to ascertain the conditions of the adoption of solar energy, throughout two different scenarios: the adoption of photovoltaic panels to the distributed generation of electricity and the adoption of water heating residential system. The results show that the adoption of photovoltaic panels causes sectorial impacts distinct from the adoption of solar heaters due to the composition of the families' consumption by each technology.

**Keywords:** Solar energy, Computable General Equilibrium, Photovoltaic Panels, Solar Heaters.

Código JEL: C68; Q42; Q48

## **1. Introdução**

A ocorrência cada vez mais intensa e frequente de eventos climáticos extremos, como secas e enchentes, ilustra os potenciais danos das mudanças climáticas sobre a sociedade (IPCC, 2014). Espera-se uma redução significativa da ocorrência de chuvas no Centro-Oeste, Norte e

---

<sup>1</sup> Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

<sup>2</sup> Doutoranda em Economia - Cedeplar (UFMG).

<sup>3</sup> Professora Adjunta - Cedeplar (UFMG).

<sup>4</sup> Professor Associado - Cedeplar (UFMG).

Nordeste e variações positivas da precipitação no Sul e Sudeste nos próximos anos (PBMC, 2013). A contribuição antrópica para o aquecimento global por meio da queima de combustíveis fósseis tem se tornado consenso, colocando em pauta a necessidade de medidas mitigatórias, com ênfase na utilização de matriz energética mais limpa. Nesse contexto, o Brasil apresenta estrutura favorável. Em 2014, 74,6% da oferta interna de eletricidade eram originárias de fontes renováveis, em maior parte energia hidráulica (MME, 2015).

Contudo, a utilização e expansão dessa fonte de energia encontra limitações frente não só às questões ambientais envolvidas com a construção das usinas, mas também com a crise hídrica vivenciada pelo país desde 2014. Nesse ponto, o fator clima tem papel preponderante, pois as mudanças climáticas, à medida que afetam o volume das chuvas, agravam a situação hídrica. Além disso, observa-se esgotamento das principais bacias hidrográficas brasileiras, com capacidade de geração hidroelétrica de alta densidade energética, nos principais centros consumidores do país (PEREIRA et al., 2006).

A solução imediata para suprir a demanda energética tem sido a utilização das termelétricas<sup>5</sup> que, no entanto, é limitada por dois problemas principais. O primeiro deles refere-se à questão ambiental, dadas as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) associadas a esta fonte de energia, que prospectivamente, contribuiriam para a intensificação das mudanças climáticas e possível quadro mais agudo de eventos climáticos irregulares tal qual a redução do volume de chuvas e consequente escassez hídrica. Já o segundo componente é econômico, pois a energia termelétrica implica condições de geração relativamente mais caras, revertidas em aumentos de tarifas<sup>6</sup>.

No ranking nacional das tarifas residenciais homologadas pela ANEEL, que exclui tributos e taxas de iluminação pública, a Companhia Energética de Minas Gerais S.A. (CEMIG), está entre as 12 distribuidoras com maiores tarifas (ANEEL, 2016). Assim, o preço elevado da eletricidade, associado à degradação ambiental provocada pelas fontes tradicionais de geração de eletricidade, cria espaço para discutir a adoção de fontes alternativas de energia. Nesse sentido, destaca-se a energia solar, em especial a conversão de radiação solar em eletricidade a partir de painéis fotovoltaicos. Minas Gerais é um dos que poderiam se beneficiar com a expansão da energia fotovoltaica, dado que apresenta alto nível de irradiação solar (CEMIG, 2012). Dessa forma, a energia solar fotovoltaica residencial desponta com potencial para suprir a demanda de eletricidade no estado (SALAMONI et al., 2004; NAKABAYASHI, 2015).

Segundo o Relatório Deutsche Bank (2015), espera-se que o mercado de eletricidade dobre de tamanho nos próximos 20 anos e que a indústria de energia solar cresça até 10 vezes o atual tamanho nesse mesmo período. A previsão é que com o aumento da demanda, os custos se reduzam consideravelmente e a geração de energia solar avance para a produção em larga

---

<sup>5</sup> Usinas termelétricas produzem energia elétrica a partir da queima de combustíveis fósseis como gás natural, derivados do petróleo e carvão mineral, que liberam GEE durante a queima. Também é possível utilizar combustíveis de biomassa, porém, os combustíveis fósseis ainda são muito utilizados no Brasil devido à sua maior eficiência em relação à biomassa (LIMA; SOUZA, 2015).

<sup>6</sup> No Brasil, o repasse aos consumidores se dá através de um Sistema de Bandeiras Tarifárias, de acordo com a Resolução Normativa nº 547/13 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, vigente desde janeiro de 2015. O sistema é constituído de três bandeiras (verde, amarela e vermelha), que indicam acréscimo ao custo do quilowatt-hora (kWh) dadas as condições de geração da concessionária de energia. A bandeira verde representa a condição de geração favorável, não há acréscimo na tarifa. Na bandeira vermelha as condições são mais custosas, em que é necessário recorrer às termelétricas para suprir a demanda de eletricidade, e a tarifa pode chegar a sofrer um acréscimo de R\$ 0,045 para cada kWh consumido.

escala. Ou seja, se de um lado é necessário diversificar a matriz energética e reduzir as emissões de GEE, por outro, o investimento em fontes alternativas de energia pode também ser economicamente viável, desde que existam os incentivos necessários ao seu desenvolvimento. Neste contexto, na última década, uma série de estudos buscaram analisar a viabilidade econômica da utilização de energia solar, como os painéis fotovoltaicos (JARDIM et al., 2008; ORDENES et al., 2007; MITSCHER; RUTHER, 2012; HOLDERMANN; KISSEL; BEIGEL, 2014) e os aquecedores solares (WOELZ, 2002; RISPOLI, 2008; ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO; CARLO, 2012; MILHOMEM et al., 2015; PEREIRA; SANTOS, 2016).

Minas Gerais está entre os estados com maior potencial técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais, dado o potencial de radiação solar, seria possível gerar 3,18 vezes mais eletricidade do que o consumo elétrico residencial no ano de 2013, demonstrando teoricamente que a geração distribuída fotovoltaica poderia suprir, com excedentes, esta demanda (EPE, 2014b). Porém, apesar do elevado potencial, no Brasil há apenas projetos experimentais de sistemas autônomos e conectados à rede (CABELLO; POMPERMAYER, 2013).

Dessa forma, o objetivo principal do presente artigo consiste em simular os impactos, sobre a economia de Minas Gerais, decorrentes da utilização de energia solar fotovoltaica residencial ligada à rede elétrica (*on grid*) e da utilização de aquecedores solares como alternativas ao consumo de eletricidade proveniente da concessionária de energia elétrica. Mais especificamente, são consideradas as condições para aquisição dos painéis fotovoltaicos e aquecedores solares, tais como os custos do projeto e suas formas de financiamento pelas famílias. Os impactos desta aquisição sobre indicadores socioeconômicos e setoriais (produção, consumo, renda, nível de emprego), além de resultados por grupos de famílias, são obtidos a partir de simulações com um modelo de equilíbrio geral computável.

O investimento em energia solar e a crescente utilização pelas famílias podem afetar diversos agentes e setores da economia, cujos efeitos podem se amplificar ou anular dentro da cadeia de inter-relações econômicas e regionais. Ou seja, espera-se que as famílias que passem a utilizar energia solar obtenham ganho líquido de renda. Este ganho afetaria direta e indiretamente seu padrão de consumo. Além disso, esta variação no consumo impulsionaria diferentemente o nível de atividade dos diversos setores produtivos. O aumento da oferta de energia por fontes renováveis é ainda benéfico ao promover segurança e diversidade da matriz elétrica, além dos ganhos ambientais, principalmente em relação à redução das emissões de gases de efeito estufa provenientes da geração de eletricidade por fontes poluentes. Nesse contexto, a abordagem de Equilíbrio Geral Computável (EGC) mostra-se ferramenta adequada para tratar sobre o tema.

Os impactos da utilização de fontes de energia renovável utilizando essa metodologia podem ser encontrados em Kancs (2007), Boeters e Koornneef (2011), Lee (2012), Böhringer, Keller e Werf (2013), Cansino et al. (2013), Rivers (2013), Rausch e Mowers (2014), Cansino et al. (2014), Acar e Yeldan (2016) e Dai et al. (2016). O presente trabalho se diferencia da literatura existente ao analisar os impactos socioeconômicos da utilização da energia solar pelas famílias para autoconsumo. Assim, torna-se possível avaliar os impactos de políticas energéticas, fornecendo informações importantes para o planejamento público e até mesmo para políticas de redistribuição de renda.

## 2. Metodologia

### 2.1. Modelo

Um aumento da utilização de energia solar pode alterar a estrutura geral de preços da economia e gerar redistribuição de renda, modificando a estrutura de produção e consumo no

setor elétrico. Para compreender esses efeitos, o presente trabalho utiliza um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC), que busca analisar os impactos socioeconômicos provenientes da adoção de aquecedores solares e painéis fotovoltaicos pelas famílias. Na abordagem aplicada de equilíbrio geral, a economia é vista como um sistema de mercados interligados no qual um conjunto de equações descreve o comportamento dos agentes econômicos (famílias, empresas, governo e demais instituições da economia) e onde o equilíbrio entre todas as relações é obtido simultaneamente. Os modelos de EGC são, desse modo, capazes de considerar, de forma interligada, os efeitos de choques sobre preços, quantidades e sobre a estrutura da economia como um todo.

De forma geral, estes modelos determinam, endogenamente, através de programas microeconômicos de otimização, os preços relativos e as quantidades produzidas. São considerados modelos aplicados, pois geram respostas numéricas para o problema de equilíbrio geral fornecendo resultados detalhados e abrangentes sobre os efeitos de políticas analisadas. Tais modelos são vistos como uma moderna extensão dos modelos tradicionais de contabilidade social que permitem considerar variações nos preços relativos e substituição de fatores de produção, além de possuir riqueza de detalhes em decorrência do seu caráter multisetorial. Há possibilidades, portanto, para análises globais e análises desagregadas (FOCHEZATTO, 2003).

O presente trabalho utiliza o modelo IMAGEM-MG, *Integrated Multirregional Applied General Equilibrium Model for Minas Gerais*, um modelo regional para Minas Gerais, desenvolvido a partir do IMAGEM-B, *Integrated Multirregional Applied General Equilibrium Model for Brazil*. O IMAGEM-B foi desenvolvido pelo Cedeplar para tratar de temas regionais e de questões relacionadas ao comércio e à infraestrutura, entre outros. Este modelo segue a estrutura teórica do modelo TERM - *The Enormous Regional Model*.

O IMAGEM-MG é um modelo do tipo Johansen, cuja estrutura matemática é representada por um conjunto equações linearizadas e as soluções são obtidas na forma de taxas de crescimento. O modelo apresenta especificação *bottom-up* para os estados, o que significa que os resultados nacionais são agregações dos valores obtidos para o nível regional. Para esta dissertação o modelo foi calibrado para o ano base de 2013, partindo das informações das Tabelas de Recursos e Usos do IBGE e de dados das Contas Regionais. Outra modificação desenvolvida para esta dissertação foi a especificação de 10 famílias representativas, como forma de tornar mais adequada as simulações de adoção de tecnologias de energia solar.

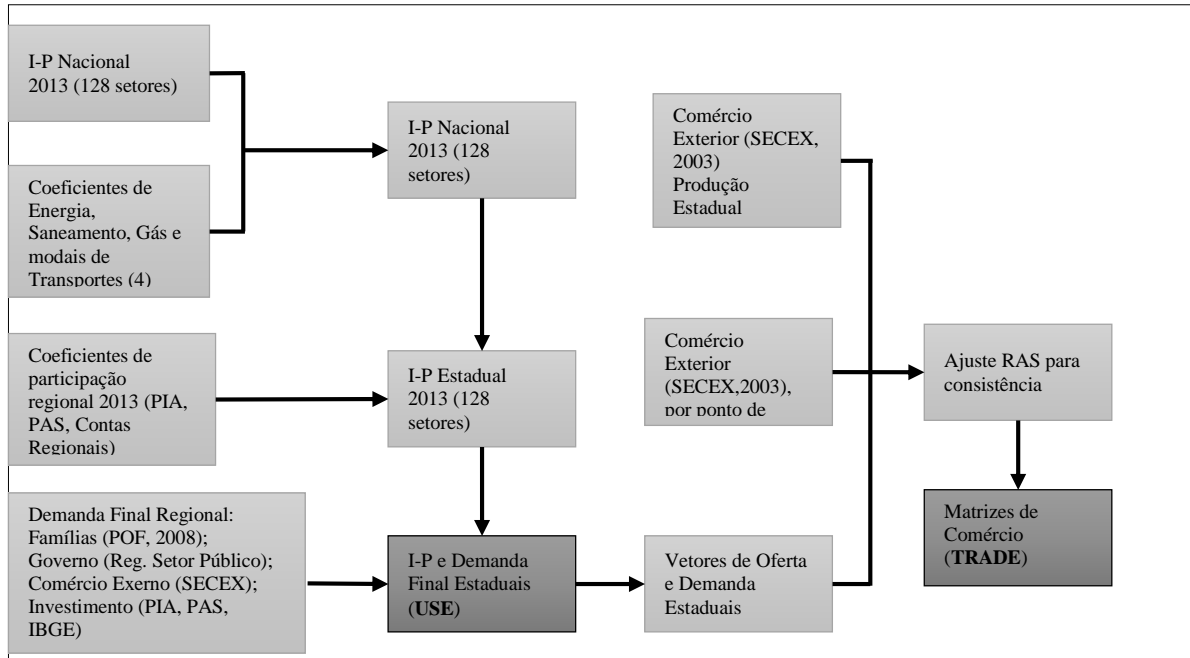
Ressalta-se que o IMAGEM-MG opera com equações de equilíbrio de mercado para todos os bens consumidos localmente (domésticos e importados) e equilíbrio no mercado de fatores (capital e trabalho) em cada região. Os preços de compra para cada um dos grupos de uso (produtores, investidores, famílias, exportadores, e governo) são compostos pela soma dos valores básicos, acrescidos de impostos (diretos e indiretos) sobre vendas e das margens. Os impostos sobre vendas são tratados como taxas *ad-valorem* sobre os fluxos básicos. As demandas por margens (transporte e de comércio) são proporcionais aos fluxos de bens aos quais as margens estão conectadas.

## 2.2. Base de Dados e Parâmetros

O banco de dados central do modelo é composto por dois conjuntos de matrizes representativas: uso dos produtos em cada estado e fluxos de comércio. O primeiro conjunto, relativo ao uso dos produtos, em valores de entrega (inclui valores de margem de comércio e transporte), é representado pela matriz USE. Esta matriz apresenta as relações de uso de cada produto, *c*, de origem doméstica ou importada, para 40 usuários nas duas regiões (Minas Gerais e Resto do Brasil) e 4 demandantes finais (famílias, investimento, exportações, governo). O segundo conjunto, relativo aos fluxos de comércio, é representado por TRADE, mostra o valor

do comércio inter-regional para os 36 bens de origem doméstica ou importada. As informações primárias utilizadas na construção deste banco de dados do modelo estão esquematicamente representadas na Figura 1.

**Figura 1 - Construção da base de dados do modelo**



Fonte: Elaboração Própria

A geração do banco de dados do modelo e o teste de consistência foram implementados no GEMPACK seguindo os procedimentos propostos por Horridge (2005). A evolução dos dados neste modelo em relação ao modelo base IMAGEM-B se deu no sentido de atualizar as bases de dados para pesquisas mais recentes (Matriz de Insumo-Produto, 2013; POF, 2008; SECEX, 2003), além de desagregar 10 famílias representativas de acordo com categorias de renda.

O vetor nacional do consumo das famílias foi regionalizado a partir dos dados da Pesquisa de Orçamento Familiar - POF (2008) e da renda *per-capita*, medida em salários mínimos, obtida da Relação Anual de Informações Sociais - RAIS (2013). Para tanto, o primeiro passo consistiu na classificação das despesas da POF de acordo com a matriz do IBGE e, em seguida, calculou-se grupos de despesas a partir dos seus componentes através de uma agregação das despesas presentes na POF. Para garantir que a amostra obtida nesse procedimento fosse representativa da população brasileira, utilizou-se o fator de expansão, ou seja, os valores foram expandidos pelo peso amostral. No modelo, há um conjunto de 10 famílias representativas em cada região, agrupadas por classe de renda seguindo a tipologia da Tabela 1.

**Tabela 1 - Definição dos grupos de famílias por salário mínimo**

Grupo	Salários Mínimos <i>per capita</i>
HOU01	menor que 0,5
HOU02	entre 0,5 e 1
HOU03	entre 1 e 2
HOU04	entre 2 e 3
HOU05	entre 3 e 5
HOU06	entre 5 e 10
HOU07	entre 10 e 20

**HOU08**  
**HOU09**  
**HOU10**

entre 20 e 40  
entre 40 e 80  
acima de 80

Fonte: Elaboração própria com base no banco de dados do modelo IMAGEM-MG

Ademais, foram introduzidas atualizações na base de dados relativas a três parâmetros: a elasticidade-renda (EPS) obtida por Hoffmann (2010), a Elasticidade de Substituição do comércio regional (SIGMADOMDOM) estimada por Faria e Haddad (2011) e a Elasticidade de Substituição das Importações (ARMSIGMA), calculada por Kume e Piani(2011).

### 3. Simulações

Os procedimentos utilizados nas simulações de adoção de energia solar residencial são apresentados nesta seção. O mecanismo de dinâmica recursiva do modelo toma explicitamente o horizonte temporal nas simulações, em que o ajuste das variáveis endógenas, após o choque inicial e ao longo do período de análise, ocorre tanto no cenário base quanto nos cenários de política, aqui representados pela adoção de painéis fotovoltaicos ou aquecedores solares por grupos de famílias de Minas Gerais. O cenário base é construído a partir de um conjunto de simulações anuais encadeadas, que reproduzem uma trajetória pré-estabelecida para a economia brasileira. Nesta dissertação foram adotadas estimativas e dados nacionais observados, em termos de variação percentual, para o PIB real, exportações, consumo das famílias, investimento e consumo do governo (TABELA 2).

Como a base de dados do IMAGEM-MG é de 2013, foram coletados valores dos principais indicadores macroeconômicos apresentados para os anos de 2014 e 2015 a partir dos dados do IBGE (2016), e projeções de crescimento econômico para os anos subsequentes, de 2016 a 2036, baseadas nas projeções do Banco Central do Brasil (BCB, 2016). O período analisado, 20 anos, corresponde a uma expectativa da vida útil dos sistemas fotovoltaicos e de aquecimento de água encontrada na literatura (NAKABAYASHI, 2015; TORRES, 2012; VIANNA, 2010). No fechamento utilizado para as simulações de cenário base, os indicadores macroeconômicos, variáveis normalmente exógenas, tornam-se endógenos. Dessa forma, o modelo calcula o valor destas variáveis e as adota como exógenas para simular os cenários alternativos de interesse, ou seja, os cenários de adoção de painéis fotovoltaicos e aquecedores solares.

**Tabela 2 - Principais variáveis do cenário macroeconômico (var. % real)**

<b>Indicadores</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020 a 2036</b>
<b>PIB</b>	-0,75	-3,72	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18
<b>Consumo das Famílias</b>	1,3	-4	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18
<b>Investimento</b>	-4,5	-14,1	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18
<b>Consumo do Governo</b>	1,2	-1,05	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18
<b>Exportações</b>	-1,1	-6,09	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE (2016) e BCB (2016)

Este cenário base busca representar as mudanças projetadas para a economia ao longo do período de estudo (2017 a 2036) na ausência de alterações no consumo de energia solar nas residências mineiras. Na adoção de um modelo dinâmico, a elaboração do cenário base (contrafactual) é fundamental para a visualização de duas trajetórias para cada variável de interesse. Nesta dissertação, a primeira representa a trajetória da economia na ausência de mudanças na fonte de consumo de energia e a segunda mostra o comportamento decorrente da adoção de energia solar, por meio de painéis fotovoltaicos ou aquecedores solares pelas famílias de Minas Gerais.

No ano de 2017 são aplicadas as políticas de adoção de painéis fotovoltaicos ou aquecedores solares, compondo duas simulações distintas, conforme detalhado nas duas seções a seguir. A partir desses choques iniciais, são encadeadas novas simulações, ano a ano. Dessa forma, é possível analisar os resultados a partir de desvios acumulados em relação ao cenário base até o último ano do período estudado, 2036.

Os procedimentos para calcular os choques foram divididos em duas etapas: a primeira consistiu no dimensionamento dos sistemas (painel e aquecedor), a segunda consiste na análise de viabilidade econômica dos mesmos para cada faixa de renda, o que torna possível determinar quais faixas de renda teriam incentivos para adotá-los e a consequente variação percentual de renda em cada faixa de rendimentos diante a adoção dos dois sistemas, que corresponde ao choque adotado.

### 3.1. Dimensionamento dos Sistemas

#### 3.1.1. Dimensionamento do Painel Fotovoltaico

O primeiro passo para a simulação envolvendo a adoção de sistemas fotovoltaicos para geração de eletricidade nas residências consistiu em dimensionar uma planta padrão para todas as residências. Os procedimentos para o cálculo da potência necessária e custo do sistema FV adotados seguem a metodologia proposta por Pinho e Galdino (2014). O passo inicial para dimensionar o sistema FV a ser adotado é determinar sua potência nominal em Corrente Contínua (CC) a fim de conhecer a capacidade de autonomia da edificação (utilizando apenas energia solar como fonte de geração de energia elétrica).

A potência nominal necessária para atender a demanda da edificação é dada por:

$$P_{CC} = \frac{E}{G \times R} \quad (7)$$

em que:

$P_{CC}$  representa a potência média em corrente contínua necessária (kWp)

$E$  representa o consumo médio diário durante o ano

$G$  representa a irradiação diária recebida no plano do painel fotovoltaico (kWh/m<sup>2</sup>) dividida pela irradiância de 1.000W/m<sup>2</sup>, expressa em horas (h)

$R$  é o rendimento do sistema, inversor e conexões (%)

Optou-se por considerar um consumo mensal de aproximadamente 300 kWh/mês, e um sistema com rendimento de 80%, compatível com os valores encontrados na literatura (MARINOSKI, SALAMONI e RUTHER, 2004; VIANNA, 2010; TORRES, 2012; NAKABAYASHI, 2015). Considerando, ainda, o nível de radiação solar diária de 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/dia (CEMIG, 2012) para o Estado de Minas Gerais, obtém-se a potência necessária para o sistema FV de aproximadamente 2kWp. A tecnologia fotovoltaica mais utilizada é de silício cristalino (PINHO; GALDINO, 2014), e para estas especificações definiu-se o preço de R\$ 10/Wp, com base em estudos<sup>7</sup> para a economia brasileira. Assim, o preço final do sistema seria aproximadamente R\$ 20.000,00. Para verificar a proximidade do valor encontrado com

---

<sup>7</sup> Estudos que calculam o valor do Wp fotovoltaico procuram estipular um preço nacionalizado dos sistemas fotovoltaicos considerando os tributos. Ou seja, definidos os preços internacionais dos sistemas FV, a taxa de câmbio e os impostos, obtém-se o preço nacional do Wp FV. Os sistemas fotovoltaicos, por exemplo, estão na faixa de US\$ 5–7/Wp, conforme a tecnologia e o tamanho (CEMIG, 2012). O EPE (2012) considera câmbio de US\$ 1/R\$ 1,75 e impostos nacionais de 25%, chegando a um custo de investimento de R\$8,36/Wp para sistemas de até 100 kWp. Já para um sistema com potência maior ou igual a 1,0 MW, o custo estaria na faixa de 4 - 6 R\$/Wp instalado. Já segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (2012), o custo do sistema solar fotovoltaico é da ordem de 5,73 R\$/Wp instalado. Atualizando estes valores para uma câmbio de US\$ 1/R\$ 3,25, obtém-se o valor aproximado de 10 R\$/Wp.

os preços de mercado efetivamente adotados, foram realizados orçamentos em empresas especializadas em sistemas solares fotovoltaicos<sup>8</sup>, em que observou-se valores condizentes com os encontrados.

Portanto, em um mês de 30 dias seriam gerados 288kWh/mês. A eletricidade que não é consumida no momento da geração, é enviada à rede elétrica. Assim, a família obtém crédito de consumo equivalente à eletricidade que envia. Ou seja, considerando que a tarifa de energia elétrica da CEMIG, incluindo impostos, seja de 0,82 centavos, o sistema dimensionado, que produz 288kWh/mês, pode gerar uma economia mensal de aproximadamente R\$236,00. Devido aos altos preços dos componentes do sistema fotovoltaico, sua instalação só se tornaria viável para as famílias que consomem mais eletricidade. Como boa parte dos custos do sistema são fixos, independente do dimensionamento do sistema (custos de instalação, inversores, etc), um sistema pequeno, que produzisse menos eletricidade, não seria economicamente viável. Por isso, optou-se por simular um sistema fotovoltaico maior, economicamente viável, com a potência instalada de 2 KWp.

### 3.1.2. Dimensionamento do Aquecedor Solar

Para as simulações envolvendo adoção de aquecedores solares pelas famílias mineiras, utilizou-se o preço médio de mercado<sup>9</sup> de um sistema de aquecimento, R\$ 3000,00 em valores de 2016. O consumo médio mensal do chuveiro elétrico nas residências mineiras pode ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$C = (P_w/1000) \times T \quad (10)$$

em que:

$C$  é o consumo mensal medido em kWh;

$P_w$  é a potência do chuveiro medida em Watts;

$T$  é o número mensal de horas que o chuveiro permanece ligado.

Considerando-se o mesmo perfil de consumo do chuveiro elétrico para todas as famílias, 20 minutos por dia, e a potência média do chuveiro de 4400W, tem-se que o consumo mensal do chuveiro elétrico seria de 44kWh/mês. Sendo a tarifa R\$ 0,82, a economia com a instalação do aquecedor solar seria aproximadamente R\$ 36,00 por mês. Embora, observa-se que, em termos absolutos, o consumo das famílias de maior renda com chuveiro elétrico é maior do que das famílias de menor renda, optou-se por considerar o mesmo perfil de consumo para todas as famílias. Pois seria uma aproximação da realidade de que, nas famílias de maior renda, o percentual do consumo de eletricidade que se deve à utilização do chuveiro elétrico, em relação ao consumo total, é relativamente menor. Isto se deve ao fato de que as famílias de maior renda possuem maior número de eletrodomésticos e eletrônicos, o que também contribui para justificar o maior consumo de eletricidade em relação às primeiras faixas de renda.

### 3.2. Análise de Viabilidade Econômica por Classe de Rendimentos

Para definir os valores dos choques, foram consideradas informações sobre o consumo de eletricidade de cada classe de rendimento e o valor da parcela do financiamento para adoção dos painéis fotovoltaicos e dos aquecedores solares. Assim, o choque dado visa representar o ganho líquido de renda para cada grupo de famílias previamente definido. Os procedimentos realizados, bem como os valores finais dos choques são especificados nesta seção. Utilizou-se nesta dissertação o conceito de famílias adotado pelo IBGE, que coincide com o conceito de

<sup>8</sup> Neosolar Energia (<http://www.neosolar.com.br/>) e Portal Solar (<http://www.portalsolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico.html>).

<sup>9</sup> Solar e Sol (<http://www.solaresol.com.br/loja/>) e Soletrol (<http://www.soletrol.com.br/>).



Unidades de Consumo (UC) da POF. Dessa forma, o primeiro passo consistiu em determinar o número de UC, utilizando o fator de expansão do domicílio. Assim, tem-se 57.816.604 famílias, as quais foram agrupadas em 10 classes de rendimento.

A partir dos dados da POF obteve-se o consumo anual, por faixa de renda, relativo ao setor de Eletricidade, gás e outras utilidades<sup>10</sup> presente nas Contas Nacionais, para o ano de 2013. Dividindo o valor gasto com eletricidade em cada classe de rendimentos pelo valor total gasto com eletricidade, encontrou-se o peso relativo de cada classe no consumo total de eletricidade. O valor do consumo de eletricidade por faixa de renda foi dividido pelo número de famílias para encontrar o consumo de eletricidade, por família, em cada faixa de renda. Dividindo este resultado pela tarifa de eletricidade vigente em 2013 (R\$ 0,55 por kWh), encontrou-se o consumo (kWh), por família, em cada classe de rendimento. É necessário ressaltar que estes cálculos se aplicam a partir da segunda classe de renda, tendo em vista que a primeira classe (HOU01) tem direito à Tarifa Social<sup>11</sup>. Portanto, optou-se por não considerar esta classe de rendimentos. Devido ao desconto na tarifa de energia elétrica, não seria economicamente viável adotar energia solar nas condições de mercado definidas nas simulações, conforme observado na análise de viabilidade econômica realizada a seguir.

Sabendo quanto cada tipo de família gasta, em média, com eletricidade, é possível iniciar a análise de viabilidade econômica. O fluxo de caixa corresponde ao valor da redução na conta de luz proveniente da adoção de energia solar, para cada grupo de renda, subtraído do valor do financiamento. Assim, após determinar o consumo de eletricidade em 2016, o passo seguinte consistiu na realização da análise de viabilidade por meio do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), por faixa de renda. Para as simulações, considerou-se que o aumento do preço da tarifa segue uma taxa de inflação projetada de 4,5% a.a. e desconsiderou-se o aumento de preços decorrente das bandeiras amarela e vermelha.

Para o caso dos painéis fotovoltaicos, supôs-se que o total investido (R\$ 20.000,00) seria pago em 20 anos, com uma taxa de juros de 1,5% a.m., que é um valor compatível com as linhas de crédito para sistemas fotovoltaicos disponíveis no mercado.<sup>12</sup> O valor corresponde a uma parcela anual de R\$ 3703,92. A redução na conta de eletricidade é, no máximo, equivalente ao total de energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Como as famílias HOU01 a HOU05 têm um gasto com eletricidade muito inferior ao valor da parcela do financiamento, não apresentaram VPL positivo e, portanto, assumiu-se que nenhuma família destas classes de renda (até 5 salários mínimos *per capita*) adotaria energia solar fotovoltaica para autoconsumo.

De forma análoga, foram calculados os valores dos choques para o cenário de aquisição dos aquecedores solares. A partir do valor do investimento (R\$ 3.000,00) e considerando prazo de 20 anos do financiamento a uma taxa de juros de 1,5% a.m., tem-se o valor anual de 459,00 para parcela do financiamento. Considerando que todas as famílias tenham o mesmo padrão de consumo de água aquecida (44kWh), todas as famílias teriam a mesma redução na conta de luz. Assim, a diferença entre a redução de gastos e a parcela do financiamento é a mesma para todas as famílias. Dividindo esta diferença pela renda média das famílias obteve-se a razão entre o ganho líquido de renda sobre a renda total de cada classe de rendimento.

Além disso, foi considerado que a economia de energia adquirida da distribuidora é

<sup>10</sup> Por simplificação, considerou-se todo consumo deste setor com “consumo de eletricidade”.

<sup>11</sup> Concede descontos na tarifa de energia a famílias com renda mensal de até 0,5 salário mínimo *per capita*. É regulamentada pela Lei nº 12.212 de 2010 e pelo Decreto nº 7.583 de 2011.

<sup>12</sup> Alguns bancos apresentam linhas de crédito específicas para a compra de sistemas fotovoltaicos. Este é o caso da Caixa Econômica Federal, com juros que variam de 1,96% a 2,35% a.m. e o Banco do Brasil, cujos juros estão entre 1,53% a 2,02% a.m..

reduzida, representando para o setor de distribuição uma queda da demanda. Em outras palavras, redução na conta de luz das famílias é tida como redução de receita para o setor de energia. Portanto, aplicou-se um choque negativo no setor de energia de magnitude equivalente à soma da redução na conta de luz de todas as famílias que passam a utilizar energia solar.

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1. Resultados da adoção de painéis fotovoltaicos nas residências mineiras

Nesta seção são analisados os impactos da adoção de energia solar para a geração de eletricidade pelas famílias de Minas Gerais. Os resultados aqui apresentados devem ser interpretados como desvios em relação ao cenário base no qual não ocorre a adoção de energia fotovoltaica. A Tabela 3 sumariza os principais efeitos agregados da adoção de painéis fotovoltaicos sobre a economia mineira. Cabe ressaltar que apenas as famílias dos grupos HOU06 a HOU10 adotam esta fonte de energia, conforme discutido nas simulações.

Tabela 3 - Impactos em Minas Gerais da adoção de painéis fotovoltaicos nas residências (var % em 2036 – desvio acumulado em relação ao cenário base)

Indicadores em Minas Gerais	Desvio % acumulado (2017-2036)
<b>PIB real</b>	0,2056
<b>Consumo das Famílias</b>	0,9139
<b>Investimento</b>	0,5138
<b>Exportações</b>	-0,0747
<b>Importações</b>	0,6754
<b>Emprego</b>	0,2097
<b>Rentabilidade do Capital</b>	0,1181

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

Segundo os mecanismos do modelo, quando as famílias realizam o investimento em painéis fotovoltaicos, ocorre redução dos gastos com eletricidade superior ao custo do financiamento. Assim, ocorre uma geração de renda líquida para estas famílias. Conforme observado na Tabela 3, ocorre pequeno aumento do PIB no estado de Minas Gerais, cujo valor acumulado em relação ao cenário base é de 0,21% em 2036. O aumento do PIB está associado ao efeito sobre o consumo das famílias e o investimento. O consumo das famílias que adotam o painéis solares aumenta devido à renda extra recebida. A variação agregada do consumo das famílias é de aproximadamente 0,91%.

Para atender o aumento da demanda, ocorre aumento do investimento de 0,51% acumulado até 2036. O aumento do investimento tem como consequência o aumento da produção. Esse resultado pode ser relacionado a rentabilidade dos fatores primários como o capital, que cresce 0,12% acumulado até 2036 em relação ao cenário base. Portanto, o aumento da rentabilidade do capital está relacionado ao aumento da demanda por este fator como decorrência do aumento da produção e da atividade econômica. Os efeitos da maior produção também implicam em maior demanda por trabalho, que aumenta 0,21% acumulado até 2036.

Como o modelo considera a hipótese de país pequeno, em que as exportações variam inversamente com os preços domésticos, o aumento do consumo eleva a demanda e os preços domésticos, o que faz com que os bens domésticos fiquem relativamente mais caros. Mas este efeito é muito pequeno e as exportações ficam praticamente estáveis. Com o aumento dos preços domésticos os bens importados tornam-se relativamente mais baratos, há um aumento das importações (0,68% em relação ao cenário base).

Apesar de observar-se aumento no consumo das famílias no agregado, é necessário compreender o que de fato ocorre em cada faixa de renda<sup>13</sup>, uma vez que apenas as famílias com renda superior a 5 salários mínimos *per capita* (HOU06 a HOU10) adotam os painéis solares nas simulações e, portanto, apenas esses grupos apresentam ganhos de renda. A Tabela 4 representa os impactos da adoção de painéis fotovoltaicos sobre o consumo de cada família representativa.

**Tabela 4 - Impactos da adoção de painéis fotovoltaicos sobre o consumo das famílias em Minas Gerais (var % - desvio acumulado em relação ao cenário base)**

Famílias	Consumo
HOU01 – HOU05	0,0000
HOU06	0,1538
HOU07	8,9193
HOU08	3,7412
HOU09	3,2462
HOU10	2,3136

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

As famílias com renda entre 10 e 20 salários mínimos *per capita* (HOU07) são as mais beneficiadas pela adoção da energia fotovoltaica, em termos de ganhos de consumo. Isso ocorre porque o consumo de energia das famílias dessa classe de renda é integralmente fornecido pelo sistema FV, não tendo mais gastos com eletricidade proveniente da concessionária. Por outro lado, as famílias com renda entre 5 e 10 salários mínimos *per capita* (HOU06) consomem menos eletricidade que as demais famílias que adotam a energia fotovoltaica, a poupança de gasto com energia é menor. Portanto, o efeito positivo da adoção do sistema FV é menor.

Observa-se, ainda, que o crescimento do consumo e do PIB gera o aumento da arrecadação de impostos que se verifica no período analisado. De 2017 a 2036, o governo estadual teria aumento de arrecadação acumulado de aproximadamente 1 bilhão de reais (variação do imposto sobre comercialização de bens, que representa o ICMS estadual). Observando mais detalhadamente, percebe-se nos anos iniciais redução da arrecadação, que segue o efeito negativo sobre a atividade econômica, pois as famílias têm, nessa fase, gastos maiores com o financiamento do que redução da conta de energia. Após alguns anos, começa a ocorrer o ganho líquido de renda e o conseqüente aumento da atividade econômica, que gera arrecadação tributária para o governo. A arrecadação de impostos sobre as vendas começa a crescer no ano de 2030, no qual observa-se também que a variação percentual do PIB real passa a ser positiva.

O principal efeito da adoção de energia fotovoltaica para as famílias está relacionado ao aumento do consumo propiciado pela renda extra gerada. Há pequeno impacto negativo da elevação de preços sobre setores exportadores. A Tabela 5 retrata os impactos setoriais da simulação.

<sup>13</sup> Destaca-se que as simulações foram feitas com parâmetro de FRISCH constante para todas as famílias (-2,48). Como este parâmetro mede a razão entre gastos de subsistência e gastos de não subsistência (luxo) por produto para as famílias, seria esperado que esta razão fosse maior para as famílias pobres do que para as famílias ricas, mas como não há estimativas desagregadas por famílias na literatura, decidiu-se utilizar o mesmo parâmetro para todas as famílias (FRISCH, 1929).

**Tabela 5 - Impactos setoriais em Minas Gerais da adoção de painéis solares pelas famílias (desvio % acumulado em relação ao cenário base 2017-2036)**

Nº	Setor	Nível de Atividade
1	Agricultura	-0,0213
2	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	-0,0128
3	Indústrias extrativas	-0,0986
4	Fabricação de produtos alimentícios	0,0446
5	Bebida e fumo	0,0626
6	Fabricação de produtos têxteis	0,3909
7	Couros, artigos para viagem e calçados	0,3849
8	Fabricação de produtos de madeira	0,1402
9	Fabricação de celulose	0,0394
10	Fabricação de coque, Petróleo e de biocombustíveis	-0,0071
11	Fabricação de produtos químicos e farmacêuticos	-0,0524
12	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,0863
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,0615
14	Metalurgia	-0,0374
15	Fabricação de máquinas e equipamentos	0,1359
16	Fabricação de veículos automotores	0,1531
17	Fabricação de móveis	0,3651
18	Manutenção de máquinas e equipamentos	-0,0104
19	Eletricidade, gás e outras utilidades	-0,2916
20	Captação, tratamento e distribuição de água	0,0514
21	Construção de edifícios	0,3030
22	Comércio e reparação de veículos automotores	0,2972
23	Comércio atacado e varejista	0,1451
24	Transportes	0,1350
25	Correio e outras atividades de entrega	0,2920
26	Alojamento	1,1752
27	Alimentação	0,4110
28	Informação e comunicação	0,5757
29	Atividades financeiras e seguros	0,9209
30	Atividades imobiliárias	0,0304
31	Atividades profissionais, científicas e técnicas.	0,1535
32	Atividades administrativas	0,3218
33	Administração pública	-0,0260
34	Educação	-0,0365
35	Saúde	-0,0396
36	Artes, cultura, esporte e recreação	1,1502

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

É necessário ressaltar que estes resultados refletem como os setores produtivos da economia são afetados, direta e indiretamente, pelo ganho líquido de renda para as famílias com renda superior a cinco salários mínimos *per capita*. Conforme observado na Tabela 5, os setores que mais crescem são os de artes, cultura e recreação, alojamento e atividades financeiras e seguros. Isso significa que uma parcela da renda extra das famílias que adotam os painéis fotovoltaicos seria consumida com esses bens e serviços. Os impactos negativos são presentes em setores pouco relacionados ao consumo das famílias e exportadores, como a indústria extrativa. Setores associados ao consumo do governo (saúde, educação e administração pública) são afetados pelo deslocamento de fatores produtivos para os demais setores, pois como no modelo não há conexão de consumo do governo com arrecadação de impostos, não é possível

supor que o aumento da arrecadação aumenta a oferta destes bens. Analisando o padrão de consumo de cada grupo de renda, é possível concluir que os setores que apresentam maior variação no consumo das famílias HOU06 a HOU10 correspondem às maiores parcelas do orçamento das mesmas. Juntos, os três primeiros setores correspondem a 24,37% do orçamento de HOU06 e 43,45% do orçamento de HOU10.

#### 4.2. Resultados da adoção de aquecedores solares nas residências mineiras

Nesta seção são analisados os impactos da adoção de energia solar para aquecimento de água para o banho pelas famílias de Minas Gerais. Novamente, os resultados aqui apresentados devem ser lidos como desvios em relação à trajetória padrão representada pelo cenário base no qual não ocorre a adoção de energia solar. A Tabela 6 sumariza os principais efeitos agregados da adoção de painéis solares pelas famílias mineiras. Destaca-se, ainda, que as famílias das classes HOU02 a HOU10 adotariam esta fonte de energia, conforme discutido nas simulações. Os valores são consideravelmente superiores aos da simulação de painéis fotovoltaicos.

**Tabela 6 - Impactos em Minas Gerais da adoção de aquecedores solares nas residências (var % em 2036 – desvio acumulado em relação ao cenário base)**

Indicadores em Minas Gerais	Desvio % acumulado (2017-2036)
PIB real	1,3295
Consumo das Famílias	5,1777
Investimento	2,1897
Exportações	-0,2627
Importações	3,1837
Emprego	1,2090
Rentabilidade do Capital	0,9733

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

Ao contrário do que ocorre na aquisição de painéis FV, quando as famílias realizam o investimento em aquecedores solares, desde o primeiro ano ocorre variação positiva na renda. Assim, observa-se aumento acumulado no PIB em relação ao cenário base de 1,33% em 2036. Em outras palavras, o crescimento do PIB em Minas Gerais passaria de 2,15% ao ano em 2017 para cerca de 2,18 % em média até 2036. Como o aumento do PIB está associado ao comportamento do consumo das famílias e do investimento, tem-se que o consumo das famílias que adotam a energia solar aumenta em 5,18% e estimula o aumento dos investimentos em 2,19% acumulado até 2036. Assim, ocorre aumento do nível de produção que, por sua vez, aumenta a rentabilidade dos fatores primários. Como observado na Tabela 6, o uso do capital cresce 0,97% acumulado em relação ao cenário base. Além disso, o aumento da atividade econômica também gera aumento no nível de emprego em 0,13% acumulado até 2036. A aquisição de aquecedores solares tem pouco impacto sobre as exportações no agregado (0,26%), mas no acumulado até 2036 aumenta as importações em 3,18% em decorrência do aumento relativo dos preços domésticos.

É interessante analisar detalhadamente o que ocorre com o consumo de cada tipo de família representativa, pois os mesmos são heterogêneos. Ressalta-se que, ao considerar o mesmo padrão de consumo de aquecimento de água para banho para todas as famílias, conforme adotado nas simulações, todas as classes de rendimento apresentam o mesmo ganho líquido de renda com a adoção dos aquecedores solares. A diferença está no fato de que esse ganho, em proporção à renda da família, é relativamente maior nas primeiras faixas de renda. Assim, deve haver mudança relativamente maior no consumo desses grupos. A Tabela 7 representa os impactos da adoção de aquecedores solares sobre o consumo de cada tipo de família representativa.

**Tabela 7 - Impactos da adoção de aquecedores solares sobre o consumo das famílias em Minas Gerais (var % - desvio acumulado em relação ao cenário base)**

<b>Famílias</b>	<b>Consumo</b>
HOU01	0,0000
HOU02	10,7210
HOU03	8,0531
HOU04	5,2299
HOU05	3,4218
HOU06	2,1105
HOU07	1,4053
HOU08	0,9573
HOU09	0,8247
HOU10	0,5899

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

Como o primeiro grupo, das famílias que recebem até meio salário mínimo *per capita*, não adotam aquecimento solar de água para banho, esse grupo sofreria com o ônus do aumento do preços. Por outro lado, observa-se que a classe HOU02, de famílias que recebem entre 0,5 e 1 salário mínimo *per capita*, apresentou o maior ganho de consumo, pois possui o maior ganho relativo de renda.

É possível observar que no cenário de adoção de aquecedores solares nas residências o governo estadual teria aumento acumulado na arrecadação impostos sobre a comercialização de bens de aproximadamente seis bilhões de reais acumulados de 2017 a 2036.

É interessante ainda identificar os setores mais beneficiados com a adoção dos aquecedores, já que dependem de como as famílias alocam a renda extra proporcionada pela utilização da energia solar. Assim, como a renda extra gerada pela aquisição de aquecedores solares se distribui de forma diferente entre as classes de rendimentos. Em relação aos painéis FV, que são concentrados nas faixas de maior renda, a variação do nível de atividade setorial também apresentou comportamento distinto nos dois cenários. A Tabela 8 retrata esses impactos setoriais.

**Tabela 8 - Impactos setoriais em Minas Gerais da adoção de aquecedores solares pelas famílias (desvio % acumulado em relação ao cenário base 2017-2036)**

Nº	Setor	Nível de Atividade
1	Agricultura	0,6417
2	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	0,8285
3	Indústrias extrativas	-0,1840
4	Fabricação de produtos alimentícios	1,5837
5	Bebida e fumo	2,0429
6	Fabricação de produtos têxteis	3,5405
7	Couros, artigos para viagem e calçados	4,2357
8	Fabricação de produtos de madeira	1,4347
9	Fabricação de celulose	0,8774
10	Fabricação de coque, Petróleo e de biocombustíveis	0,3114
11	Fabricação de produtos químicos e farmacêuticos	0,7559
12	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	1,0371
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,4887
14	Metalurgia	0,1849
15	Fabricação de máquinas e equipamentos	1,5899
16	Fabricação de veículos automotores	0,9500
17	Fabricação de móveis	2,5874
18	Manutenção de máquinas e equipamentos	0,4162
19	Eletricidade, gás e outras utilidades	-1,4042
20	Captação, tratamento e distribuição de água	1,7226
21	Construção de edifícios	1,3962
22	Comércio e reparação de veículos automotores	2,6538
23	Comércio atacado e varejista	1,6562
24	Transportes	1,7425
25	Correio e outras atividades de entrega	1,7360
26	Alojamento	1,4384
27	Alimentação	2,6621
28	Informação e comunicação	3,4757
29	Atividades financeiras e seguros	2,7264
30	Atividades imobiliárias	0,3164
31	Atividades profissionais, científicas e técnicas.	1,0810
32	Atividades administrativas	1,0175
33	Administração pública	-0,0685
34	Educação	-0,0866
35	Saúde	-0,1082
36	Artes, cultura, esporte e recreação	4,1481

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

Os setores que mais crescem são relativos à fabricação de couros, artes e cultura, e fabricação de produtos têxteis. É interessante observar, por exemplo, que os setores de couro e de têxteis apresentam variação relativa no nível de atividade superior à observada na adoção de painéis fotovoltaicos. Este resultado pode ser explicado pelo padrão de consumo de cada grupo de renda. No caso dos painéis fotovoltaicos, como somente os grupos de renda mais elevada adotam o sistema, não ocorre um aumento tão elevado do consumo desses bens. Ou seja, famílias das classes de renda menores são as principais responsáveis pelo aumento do nível de atividade destes dois setores. De fato, a participação relativa destes setores no consumo total das famílias é maior para as famílias com renda de até cinco salários mínimos *per capita*. De forma análoga, os setor de bebidas e fumo e o setor de fabricação de produtos alimentícios

apresentaram aumentos relativamente maiores no cenário de adoção de aquecedores solares, pois são as famílias das primeiras faixas de renda que elevam o consumo destes setores, uma vez que tais bens representam uma parcela maior do orçamento destas famílias.

Inversamente, observa-se que o setor de atividades financeiras e seguros tem aumento no seu nível de atividade relativamente maior na simulação com painéis fotovoltaicos. Ou seja, as famílias de maior renda consomem relativamente mais desses serviços com o aumento da renda. É possível notar que nas famílias com renda superior a cinco salários mínimos *per capita* esses serviços representam maior parcela do consumo. Nas duas simulações realizadas o setor de Artes, cultura, esporte e recreação é um dos que apresenta maior crescimento. As famílias com renda superior a cinco salários mínimos *per capita* são as que apresentam maior gasto com esses bens e serviços, este setor representa o segundo maior gastos das famílias dessas classes de rendimentos, perdendo apenas para o setor de atividades financeiras e seguros. Assim, conclui-se que, apesar desse setor apresentar elevação relativamente alta do nível de atividade nos dois cenários, são as famílias de maior renda as principais responsáveis pelo aumento da demanda do setor.

## 5. Conclusão

Apesar de verificar-se enorme potencial para a utilização de energia solar em Minas Gerais, tanto devido aos níveis de irradiação solar, quanto ao elevado preço das tarifas de energia elétrica no estado, faz-se necessário discutir, além do retorno esperado ao investimento em energia solar, através de painéis fotovoltaicos ou coletores solares, outros mecanismos de incentivo para que as famílias de fato adotem essa fonte de energia. Como as famílias, em geral, apresentam elevadas taxas de desconto intertemporal, a possibilidade de retorno futuro do investimento pode não ser incentivo suficiente para sua realização. Assim, há espaço para que se discuta a possibilidade de um mecanismo de incentivo governamental, como subsídios e isenções de impostos.

Porém, a condução de uma política que estimule a adoção de energia solar residencial pode culminar em piora na distribuição de renda, apresentando efeitos perversos. No caso dos painéis fotovoltaicos, dados os preços de mercado, sua adoção é economicamente viável apenas para famílias de elevado consumo de eletricidade, que são as famílias das faixas mais elevadas de renda. Assim, uma política que incentive a adoção de painéis fotovoltaicos teria como principais beneficiários as famílias de maior renda. Ou seja, as famílias de maior renda teriam um ganho líquido de renda em decorrência da redução dos gastos com eletricidade.

Ao mesmo tempo, quando se verifica a possibilidade de política para estímulo do uso de aquecedores solares, os resultados são diferentes. Isso ocorre, em primeiro lugar, porque o aquecedor é acessível a mais faixas de renda e, em segundo, devido ao percentual de energia elétrica utilizado para aquecimento de água ser superior nas primeiras faixas de renda. Ou seja, o ganho relativo de renda decorrente da adoção de aquecedores solares é maior nas famílias de baixa renda. Nesse sentido, mecanismos de incentivo à adoção de aquecedores solares podem atuar como uma política de distribuição de renda.

Os resultados mostraram que, devido a adoção de painéis fotovoltaicos, os setores mais beneficiados de forma indireta seriam os de Artes e cultura, Alojamento e Atividades financeiras e seguros. No caso da adoção de aquecedores solares, Artes e cultura apresentariam maior variação de consumo real. Estes resultados podem ser explicados pelo padrão de consumo de cada grupo de renda. No caso dos painéis fotovoltaicos, como somente os grupos de renda mais elevada adotariam o sistema, ocorreria aumento relativamente maior no consumo de serviços financeiros, cuja participação no orçamento é relativamente maior nas famílias com renda superior a cinco salários mínimos *per capita*.



Inversamente, a variação no consumo dos setores de couro e têxteis mostra-se superior no cenário de adoção de aquecedores solares, tendo em vista que as famílias das primeiras faixas de renda são as principais responsáveis pelo consumo destes setores. Em suma, a adoção de painéis fotovoltaicos gera impactos setoriais distintos da adoção de aquecedores solares devido a composição do consumo das famílias que adotam cada tecnologia.

Cabe destacar que os setores que apresentaram maior crescimento referem-se àqueles intensivos em trabalho, que além de engendrarem maior crescimento de empregos, estão associados a baixos níveis de poluição. Assim, o aumento do consumo das famílias não estaria associado a maiores emissões, que reduziriam o ganho ambiental decorrente do uso de energia solar pelas famílias. Ou seja, a adoção de energia solar implicaria aumento do nível de atividade em setores com relativamente maior capacidade de gerar empregos e também pouco intensivos em energia.

Porém, é necessário ressaltar que o nível de agregação dos setores do modelo impede a análise mais robusta dos resultados setoriais. Assim, destaca-se a possibilidade de que em trabalhos futuros sejam considerados dados mais desagregados para os setores, permitindo analisar os encadeamentos provocados pela indústria de energia solar. Além disso, também seria interessante incluir um número maior de regiões e informações técnicas mais precisas sobre o potencial de geração de energia solar regional. Apesar desses fatores, acredita-se que os resultados encontrados no presente trabalho são uma aproximação crível das possibilidades de expansão da utilização de energia solar no presente, pois a utilização de energia solar corresponde a uma parcela muito pequena da demanda de energia residencial. Portanto, a indústria que fornece estes bens e serviços ainda é pequena. Além disso, apesar do enorme potencial para produção nacional, os serviços atualmente disponíveis no mercado para aquisição de painéis fotovoltaicos utilizam componentes importados. Ou seja, ao projetar impactos da ampliação do uso de energia solar, atualmente, é razoável supor que os efeitos positivos encadeados são reduzidos devido ao pequeno porte da indústria nacional de energia solar.

Por fim, além dos resultados discutidos neste trabalho, a ampliação da utilização de energia solar traz benefícios sociais ao reduzir a dependência por fontes de energia poluidoras, reduzindo indiretamente as emissões de gases de efeito estufa e diversificando a matriz energética. Ressalta-se, ainda, que estes ganhos poderiam ser potencializados por políticas energéticas que estimulassem o aproveitamento de energia solar residencial. Em especial a adoção de ASBC. Como observado, os aquecedores solares a preço de mercado já trazem resultados positivos. Investir em aquecedores com menores custos tornaria o investimento mais atrativo a todas as faixas de renda e, principalmente, o tornaria viável para a primeira faixa, permitindo ganho de renda às famílias de menor renda *per capita*.

### Referências Bibliográficas

- ACAR, S.; YELDAN, A. E. Environmental impacts of coal subsidies in Turkey: A general equilibrium analysis. **Energy Policy**, v. 90, p. 1-15, 2016.
- ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D.; CARLO, J. C. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 75-87, 2012.
- ANEEL, 2016. **Ranking das Tarifas**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>
- ANEEL, **Tarifa Social de Energia Elétrica – TSEE**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-social-baixa-renda>>

- ARNDT, Channing et al. Biofuels, poverty, and growth: a computable general equilibrium analysis of Mozambique. **Environment and Development Economics**, v. 15, n. 01, p. 81-105, 2010.
- BCB - BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Focus - Relatório de mercado**. Brasília – DF. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pec/GCI/PORT/readout/readout.asp>. Acesso em: maio de 2016.
- BÖHRINGER, C.; KELLER, A.; VAN DER WERF, E. Are green hopes too rosy? Employment and welfare impacts of renewable energy promotion. **Energy Economics**, v. 36, p. 277-285, 2013.
- BÖHRINGER, C.; LÖSCHEL, A. Computable general equilibrium models for sustainability impact assessment: Status quo and prospects. **Ecological economics**, v. 60, n. 1, p. 49-64, 2006.
- BÖHRINGER, C.; RIVERS, N. J.; RUTHERFORD, T. F.; WIGLE, R. Alternative designs for tariffs on embodied carbon: A global cost-effectiveness analysis. **Energy Economics**, v. 34, p. S143-S153, 2012.
- BOETERS, S.; KOORNNEEF, J. Supply of renewable energy sources and the cost of EU climate policy. **Energy Economics**, v. 33, n. 5, p. 1024-1034, 2011.
- BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa Aneel nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2012.
- CABELLO, A. F.; POMPERMAYER, F. M. **Energia fotovoltaica ligada à rede elétrica: atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: Rio de Janeiro, 2013. (Texto para discussão 1812)
- CANSINO, J. M.; CARDENETE, M. A.; GONZÁLEZ-LIMÓN J.M.; ROMÁN, R. The economic influence of photovoltaic technology on electricity generation: A CGE (computable general equilibrium) approach for the Andalusian case. **Energy**, v. 73, p. 70-79, 2014.
- CANSINO, J. M.; CARDENETE, M. A.; GONZÁLEZ-LIMÓN J.M.; ROMÁN, R. Economic impacts of biofuels deployment in Andalusia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 274-282, 2013.
- CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2012.
- CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **30º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG 2015: ano base 2014**. Belo Horizonte: Cemig, 2016.
- DAI, H.; XIE X.; XIE Y. ;LIU J.; MASUI T. Green growth: The economic impacts of large-scale renewable energy development in China. **Applied Energy**, v. 162, p. 435-449, 2016.
- DEUTSCHE BANK. Industry Solar. **Global Markets Research**, 2015.
- DIXON, P.B.; RIMMER, M. **Forecasting and Policy Analysis with a Dynamic CGE Model of Australia**. Working Paper, 1998.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Nota Técnica da EPE, Rio de Janeiro, 2012.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Nota Técnica DEA 19/14, Rio de Janeiro, 2014b.
- FARIA, W. R. **Efeitos regionais de investimentos em infra-estrutura de transporte rodoviário**. 2009. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

- FARIA, W. R.; HADDAD E. A. **Estimação das elasticidades de substituição do comércio regional do Brasil**. NEREUS: Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2011.
- FOCHEZATTO, A. **Construção de um modelo de equilíbrio geral computável regional: aplicação ao rio Grande do Sul**. Brasília: IPEA, 2003 (Texto para Discussão: 944)
- FORTES, P.; SEIXAS, J.; PROENÇA, S. How renewable energy promotion impacts the Portuguese economy?. In: **12th International Conference on the European Energy Market (EEM)**. IEEE, 2015.
- HOFFMANN, R. Estimativas das elasticidades-renda de várias categorias de despesa e de consumo, especialmente alimentos, no Brasil, com base na POF de 2008-2009. **Revista de Economia Agrícola**, v. 57, n. 2, p. 49-62, 2010.
- HOLDERMANN, C.; KISSEL, J.; BEIGEL, J. Distributed photovoltaic generation in Brazil: An economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. **Energy Policy**, v. 67, p. 612-617, 2014.
- HORRIDGE, M.; MADDEN, J.; WITWER, G. The impact of the 2002–2003 drought on Australia. **Journal of Policy Modeling**, v. 27, n. 3, p. 285-308, 2005.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Download. Estatísticas. **Contas Nacionais Trimestrais**. 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/defaultcnt.shtm>. Acesso em: maio de 2016.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014–Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects**. Cambridge University Press, 2014.
- JARDIM, C. S.; RÜTHER, R.; SALAMONI, I. T.; VIANA, T. S.; REBECHI, S. H.; KNOB, P. J. The strategic siting and the roofing area requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban areas in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 365-370, 2008.
- KANCS, D. Applied general equilibrium analysis of renewable energy policies. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 26, n. 1, p. 31-50, 2007.
- KUME, H.; PIANI, G. **Elasticidades de Substituição das importações no Brasil**. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: Brasília, 2011. (Texto para discussão 1678)
- KÜSTER, R.; ELLERSDORFER, I. R.; FAHL, U. **A CGE-Analysis of Energy Policies Considering Labor Market Imperfections and Technology Specifications**, 2007. (FEEM Working Paper n. 7.2007)
- LEE, D. Toward the clean production of hydrogen: Competition among renewable energy sources and nuclear power. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 20, p. 15726-15735, 2012.
- LIMA, M. T. S. L.; SOUZA, M. C. Discorrendo Sobre o Uso das Termelétricas no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 17-23, 2015.
- MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. In: **Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável**. São Paulo, Brasil. 2004.
- MILHOMEM, P. M.; SANTOS, M. R.; FONSECA, W. S.; SILVA, S. N. Construção de um aquecedor solar de água sustentável na Amazônia: usando a metodologia PBL para interação entre cursos de engenharia e escola de ensino médio. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 1, n. 3, p. 131-139, 2015.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira**. Brasília, 2015.

- MITSCHER, M.; RÜTHER, R. Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. **Energy Policy**, v. 49, p. 688-694, 2012.
- MORRIS, J.; REILLY, J. M.; PALTSEV, S. **Combining a renewable portfolio standard with a cap-and-trade policy: a general equilibrium analysis**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2010. (Report n. 187)
- NAKABAYASHI, R. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica**. 2015. Dissertação de Mestrado, (Instituto de Energia e Ambiente da USP) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- ORDENES, M.; MARINOSKI, D. L.; BRAUN, P.; RÜTHER, R. The impact of building-integrated photovoltaics on the energy demand of multi-family dwellings in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 6, p. 629-642, 2007.
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PBMC. **Relatório de Avaliação Nacional**, Brasília: PMBC, 2013.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R., ABREU, S. L., RÜTHER, R., **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.
- PEREIRA, M. A. S.; SANTOS, C. R. B. Protótipo de um sistema de aquecimento de água para população de baixa renda usando energia solar e elétrica, com reaproveitamento de calor. **ForScience**, v. 3, n. 2, p. 56-72, 2016.
- PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.
- RAUSCH, S.; MOWERS, M. Distributional and efficiency impacts of clean and renewable energy standards for electricity. **Resource and Energy Economics**, v. 36, n. 2, p. 556-585, 2014.
- REBELATTO, Daisy. **Projeto de investimento**. Editora Manole Ltda, 2004.
- RISPOLI, I. A. G. **O aquecedor solar brasileiro: teoria e pratica em prol de uma transferencia de tecnologia sustentavel**. 2008. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- RIVERS, N. Renewable energy and unemployment: A general equilibrium analysis. **Resource and Energy Economics**, v. 35, n. 4, p. 467-485, 2013.
- SALAMONI, I.; RUTHER, R.; KNOB, P.; ZOMER, C.; DINIZ, A. S. C. **O Potencial dos sistemas fotovoltaicos integrados à rede edificação e interligados à rede elétrica em centros urbanos do Brasil: Dois estudos de caso**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- VIANNA, E. O. **Integração de tecnologia fotovoltaica em edifícios públicos: estudo de caso do Fórum de Palmas-TO**. 2010. 143 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- WOELZ, A. T. Aquecedor solar de baixo custo (ASBC): uma alternativa custo-efetiva. In: **Anais do IV Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.