

Restrições Elétricas e Firmas

Na seção precedente avaliamos alguns aspectos gerais das origens e conseqüências do racionamento. Olharemos agora com mais detalhe para as restrições que o programa impôs e, com base em exercícios de estática comparativa, estabeleceremos hipóteses sobre como as firmas reagiriam a eles.

Só recentemente a literatura econômica atentou para os impactos das restrições na disponibilidade de eletricidade no comportamento das firmas. Os artigos seminais sobre a teoria da produção não concentraram atenção particular aos insumos energéticos. À luz dos fortes impactos macroeconômicos dos choques do preço do petróleo na década de 1970, a questão de como modelar e estimar corretamente o papel da energia na função de produção tornou-se foco de muitos estudos¹. Nesta literatura, o preço da energia é tido como estatística suficiente para as decisões das firmas. No entanto a eletricidade tem a peculiaridade de ser um insumo com custo proibitivamente alto de armazenamento por parte dos consumidores finais. Esta característica tecnológica faz da confiabilidade do fornecimento outra variável crucial às decisões de uso, mas que devido às características do setor elétrico, pode não estar suficientemente incorporada no preço². Além disso, devido à rigidez dos contratos, à presença do Estado e à regulação, os preços da eletricidade enfrentados pelos consumidores finais não se ajustam automaticamente a choques de oferta, casos nos quais o ajuste via cotas pode ser necessário. Apenas recentemente essas questões receberam uma atenção cuidadosa na literatura.

O primeiro artigo a introduzir esta dimensão da confiabilidade da oferta de energia elétrica da rede é Lee et al. (1999), que modela e estima as decisões de

¹ Ver Griffin e Gregory (1976), Berndt e Wood (1979), Pindyck e Rotemberg (1983) e mais recentemente Atkeson e Kehoe (1999). Esta literatura mostra que a forte complementaridade entre energia e capital torna a demanda por energia relativamente inelástica a choques no preço da energia no curto prazo. A resposta de longo prazo é mais elástica conforme as firmas ajustam o montante e nível de eficiência energética do seu estoque de capital.

² O aspecto de monopólio natural da rede de distribuição, as limitações tecnológicas de monitoramento e a regulamentação no sector podem impedir firmas de contratar níveis de confiabilidade do fornecimento de eletricidade. Mesmo que os contratos versem sobre a questão da confiabilidade, esta informação dificilmente estará disponível ao econometrista ou poderá ser recuperada olhando apenas com base nos preços.

autogeração de eletricidade das firmas. Mesmo sem dados subnacionais de confiabilidade da oferta, tais como cortes de energia, eles mostram que a autoprodução é muito mais comum na Nigéria, onde a eletricidade é pouco confiável, do que nas Filipinas, onde falhas são raras. Alby et al. (2009) usam dados de empresa contendo preço e dados de cortes no fornecimento de eletricidade no nível da firma. Eles mostram que interrupções no fornecimento distorcem as decisões de investimento para de capital menos produtivo na forma de geradores. Em um ambiente de falhas recorrentes, a indivisibilidade dos geradores acrescenta um custo de entrada adicional que impede a entrada de firmas de menor porte³. Fisher-Vanden et al. (2008) associam dados chineses de firma a dados das distribuidoras de eletricidade para avaliar o efeito dos cortes no fornecimento na produtividade total dos fatores. As autoras mostram que as firmas substituem energia por insumos materiais num estágio mais avançado de produção, terceirizando a produção de insumos intermediários.

No entanto, algumas questões empíricas nestes artigos necessitam de aprimoramento. Os problemas econométricos de todos estes artigos estão relacionados ao fato de que as interrupções no fornecimento (a) são um resultado do excesso de demanda e (b) afetam todas as firmas num certo ramo da rede de distribuição. Uma vez que, na maioria dos casos, cortes no fornecimento são resultado da demanda por eletricidade crescer mais rapidamente do que a capacidade de geração e distribuição, as interrupções na oferta são endógenas. Alby et al. (2009) reconhecem isso, mas o instrumento proposto por eles (manutenção preventiva das usinas) também é determinado pelo excesso de demanda por parte das firmas. A segunda questão é que, se uma subsecção da rede elétrica falhar, todas as empresas nessa área são afetadas. Assim, a variável explicativa "falhas" varia em nível mais agregado, a subsecção da rede, do que o nível da empresa. Se a correção correspondente não for empregada, ajustando para *cluster* entre as subsecções da rede, as estimativas trarão erros-padrão erroneamente baixos. A gravidade deste problema depende positivamente da proporção de empresas que são afetadas por cada falha de subsistema. Assim, esta

³ Ramanlho e Geginat (2009) documentam os custos, procedimentos e prazos necessários para as novas firmas se conectarem à rede elétrica. Os desafios são semelhantes àqueles da regulação de entrada (Djankov et al. 2002): barreiras de acesso à eletricidade são mais graves nos países em desenvolvimento e afetam negativamente variáveis de desempenho das firmas.

preocupação é mais grave para as situações de restrições elétricas causadas por gargalos de geração e transmissão, que afetam grandes áreas, do que as falhas da rede de distribuição, que são mais localizadas. Como veremos na análise empírica, este aspecto é particularmente importante no nosso estudo.

Nesta literatura, a heterogeneidade das restrições da oferta de energia elétrica enfrentadas pelos consumidores finais também dificulta a comparabilidade dos resultados. Os artigos citados da literatura sobre confiabilidade da oferta de eletricidade (Alby et al., 2009; Fisher-Vanden et al., 2009) tratam de situações de cortes no fornecimento. Por isso, introduzem restrições de disponibilidade de eletricidade no problema de maximização via uma constante entre 0 e 1, que permite o uso de apenas parte da eletricidade comprada da rede. Isso lhes permite usar teoremas do envelope e da função implícita para mostrar o sinal das derivadas de produção e uso de insumos à intensidade da constante que indica o nível de restrições.

Quanto às causas, estas restrições podem ser de três tipos: (1) acidentes de transmissão-distribuição que interrompem a conectividade da rede (chuvas fortes, descargas elétricas e acidentes); (2) restrições de potência, associadas à incapacidade de atender a demanda nos horários de pico por falta de capacidade de geração ou transmissão (por exemplo, devido ao uso de aparelhos de ar condicionado nos dias quentes no Rio de Janeiro); e (3) restrições de energia, associadas à incapacidade de prover energia suficiente para atender à demanda média por certo período de tempo (que acarreta programas de racionamento em larga escala, como foi o caso brasileiro).

As duas primeiras causas invariavelmente geram cortes no fornecimento⁴. Da perspectiva das firmas, os cortes adicionam uma restrição impondo limites máximos de consumo (em geral de consumo zero) ao longo do tempo ($E(t) \leq \overline{E}(t), t \in (0, T)$). Estes podem ser anunciados previamente ou não, impondo incertezas quanto à $\overline{E}(t)$. Já as restrições de energia, a princípio, impõem apenas

⁴ No caso de restrições de potência, o problema pode ser parcialmente solucionado aumentando o preço da energia nos horários de pico de forma a induzir os consumidores a redistribuir a carga de forma mais homogênea. A adoção em massa desta política tarifária, no entanto, depende da medição horo-sazonal do consumo. Atualmente estes medidores são usados apenas por grandes consumidores.

um limite máximo de consumo ($\int_0^T E(t)dt \leq \bar{E}$). Apesar de também poderem ser cumpridas via cortes no fornecimento, há a opção de programas de racionamento que restrinjam apenas o consumo total, deixando a critério dos consumidores a definição de quando e como reduzir seu consumo.

O caso brasileiro foi o 1º evento de racionamento de grande porte que fez uso do auto-acionamento. Comparando vários casos de racionamento, Maurer et al. (2005) mostram que o racionamento brasileiro pode ser considerado o exemplo de melhor resposta a restrições de oferta elétrica no mundo. Intuitivamente, a eficácia do programa derivou da liberdade e incentivos econômicos dados aos consumidores para encontrar a melhor forma de economizar energia. Na perspectiva do agente, o auto-acionamento é a forma menos custosa de cumprir certa meta de redução de demanda, pois, como vimos, não impõe as restrições de consumo zero em alguns períodos de tempo que ocorrem devido aos cortes⁵. Sendo assim, as estimativas de custo apresentadas neste artigo tem validade externa, porque servem como limite inferior para os demais custos de restrições elétricas impostas por formas mais restritivas para os consumidores, tais como cortes no fornecimento.

No programa de racionamento brasileiro, os consumidores foram incentivados por diferenciais de preço para eletricidade que variavam em função das reduções esperadas. Para cada categoria de consumidor foi estabelecida uma meta de redução porcentual no consumo. Aplicando esta meta ao consumo individual médio no período de maio a julho de 2000 - isto é, o consumo um ano antes - foi estabelecida uma cota de energia por consumidor⁶. Uma sobretaxa foi instituída sobre a eletricidade consumida além (e aquém) da cota individual. Ou seja, se o consumo de eletricidade ultrapassasse a quota, o consumidor teria de

⁵ Isto é, tanto no auto-acionamento como no caso dos cortes no fornecimento, as firmas enfrentam uma restrição na quantidade de energia consumida. No entanto, no caso dos cortes há uma restrição adicional de como este consumo deve ser distribuído ao longo do tempo. Como esta opção está no conjunto de escolha da firma no racionamento via preço, a opção por desligamentos só pode torná-la igual ou pior.

⁶ Apesar de clara, esta regra não foi completamente isonômica mesmo entre consumidores com metas similares, devido às diferenças regionais na sazonalidade do consumo de eletricidade. Isso porque o período base para o cálculo das metas, maio a julho, coincide com picos do consumo nas regiões mais frias, associado ao maior gasto energético para aquecimento. O inverso ocorre nas regiões mais quentes, onde o pico de consumo se dá no verão devido ao uso de aparelhos de ar condicionado.

pagar a taxa normal para a quantidade dentro da cota e a sobretaxa no montante em excesso. Por outro lado, consumidores receberiam um bônus, no valor da sobretaxa, por quantidades economizadas além da meta. Portanto, os gastos com eletricidade (GE) de uma firma durante o racionamento são dados por (I):

Equação I

$$GE = P_e * (1 - \alpha) \bar{E} + \delta * P_e (E - (1 - \alpha) \bar{E})$$

Na qual:

- P_e , é o preço regular da energia elétrica antes do racionamento;
- δ é a sobretaxa, que definimos como o fator de incremento do preço regular para quantidades consumidas além (ou aquém no caso dos bônus) da meta.
- α é a meta de redução do consumo de energia elétrica;
- \bar{E} é uma constante indicando a quantidade de eletricidade que foi demanda pela firma i no período de referência um ano antes, na ausência de restrições;
- E é a quantidade de eletricidade consumida durante o racionamento.

Em (I), o primeiro termo ($P_e * (1 - \alpha) \bar{E}$) se refere ao valor pago sobre a energia dentro da cota e o segundo termo ($\delta * P_e (E - (1 - \alpha) \bar{E})$) ao preço pago (recebido como bônus) pela energia consumida aquém (além) da cota. Na ausência de restrições de oferta $\alpha = 0$ e $\delta = 1$ e o gasto com eletricidade será o usual ($P_e E$). Durante o racionamento os valores destes parâmetros variaram por classe de consumidor conforme exposto na tabela 2. Entre os consumidores residenciais as restrições variavam em função de faixas de consumo. Nenhuma meta ($\alpha=0$) foi imposta aos pequenos consumidores (até 100kWh/mês); mesmo assim estes consumidores receberam um bônus de duas vezes o valor da tarifa (T) caso poupassem energia em relação ao ano anterior ($\delta=2$). Os demais consumidores residenciais de todas as faixas de consumo (exceto rurais e de alta tensão) receberam metas de 20% de redução e fator de incremento de 2. Para estes consumidores, além dos incentivos via preço, a violação das metas acarretaria desligamentos de 3 (6) dias na primeira (segunda) infração. Apenas para as

residências de alto consumo (200 kWh/mês), além do sistema de incremento, as tarifas regulares cobradas aumentaram mesmo no caso do cumprimento da meta.

Tabela 2: Metas de redução, sobretaxas e punições

tipo de consumidor	meta (α)	fator de incremento da tarifa fora da meta (δ)	aumento de tarifa regular	Outras Punições	
residencial	até 100kWh/m	0%	2 ⁺	0%	n.a.
	100 a 200kWh/m	20%	2	0%	Deslig*
	200 a 500kWh/m	20%	2	50%	Deslig*
	> 500kWh/m	20%	2	100%	Deslig*
comércio, indústria e serviços (Baixa tensão)	20%	2	0%	Deslig**	
rurais	10%	2	0%	Deslig**	
Indústria (alta tensão)	15 a 25%	n.a.***	0%	Deslig**	

*: desligamento de: 3 dias (1a violação), 4 a 6 dias (2a violação) 4 a 6 dias;
 **: desligamento de 1 dia para cada 3% além da meta;
 ***: δ definido pelos preços negociados em mercados secundários.
 .+: residências de baixo consumo isentas de multas mas com bônus pelas reduções

Os consumidores comerciais e industriais de baixa tensão também receberam metas de redução de 20% e fator de incremento de 2. Entre os consumidores industriais de alta tensão, categoria na qual se enquadram praticamente todas as firmas da PIA, as metas variaram de 15% a 25% em função do setor, sendo 20% a redução aplicada à maioria⁷. Estes grandes consumidores podiam comprar cotas de outras firmas que poupassem além do requerido ou produzissem eletricidade. Estas cotas podiam ser transacionadas bilateralmente, em mercados secundários ou no Mercado Atacadista de Energia (MAE). Não pudemos encontrar registro dos dados das transações nos mercados secundários. Os dados do MAE mostram que os preços da eletricidade não previamente contratada subiram fortemente em função do racionamento⁸. Mesmo sem saber o valor pago por cada firma, sabemos que $\delta \geq 1$, pois do contrário não haveria firmas ofertando energia no mercado secundário. Firmas que não cumprissem as

⁷ A tabela 8, no apêndice, apresenta as metas para cada setor. Os dados da PIA não trazem informações sobre o tipo de conexão de cada consumidor. No entanto, consultas informais a especialistas em eletricidade revelaram que dado o porte das firmas em questão, 29 ou mais funcionários, as plantas industriais dificilmente seriam atendidas em baixa tensão.

⁸ Segundo Jabur (2001), foram estabelecidos alguns mercados. O MAE era abrigado pela Bovespa e atendia os grandes consumidores; mercados paralelos para consumidores menores surgiram na FIRJAN, CEMIG e FIESP (Operação Energia), CPFL e Companhia Bandeirante. Apesar de reiteradas tentativas, não fomos capazes de obter dados de tais leilões. O MAE abrigou apenas uma pequena parcela das transações do período, no entanto é a única fonte de dados disponível.

metas de redução, por poupança própria ou por compra de cotas de terceiros, teriam sua energia cortada por 1 dia para cada 3% de consumo que excedesse a meta.

Isolando o consumo corrente de eletricidade em (I) obtemos (II):

Equação II

$$GE = \delta P_e E + P_e(1 - \alpha)(1 - \delta)\bar{E}$$

$$\text{com: } \delta \geq 1 \rightarrow P_e(1 - \alpha)(1 - \delta)\bar{E} \leq 0$$

Em (II), o primeiro termo se refere ao gasto com energia na forma usual, variando com a quantidade consumida em função da sobretaxa ($\delta P_e E$). O 2º termo é fixo e negativo, denotando um bônus, isto é, uma transferência monetária dada ao cliente em função consumo no período de maio a julho de 2000. Assim sendo, podemos descrever o problema da firma como (III):

Equação III

$$\max_x \Pi : f(x) - zx + t(\bar{E})$$

$$\text{sa: } x \geq 0$$

$$\text{com: } t(\bar{E}) = P_e(\delta - 1)(1 - \alpha)\bar{E}$$

Na qual $x=(L,K,\dots,E)$ e $z=(w,r,\dots,\delta P_e)$ são vetores denotando respectivamente as quantidades e preços dos insumos e o preço do produto foi definido como numerário.

Conforme explicitado em (II) e (III), as medidas do racionamento constituíram um aumento de preços da energia (de P_e para δP_e) acoplado a uma transferência monetária ($t(\bar{E}) = P_e(\delta - 1)(1 - \alpha)\bar{E}$) compensatória exógena às decisões correntes da firma.

Em relação às escolhas da firma no problema descrito em (III), as mudanças usuais de estática comparativa ocorrem em função do aumento do preço da eletricidade. A quantidade produzida cai (teorema do envelope) e a demanda por eletricidade diminui (lei da demanda). Os efeitos sobre os demais insumos, capital e trabalho ou outros que poderíamos incluir no problema da firma, são ambíguos dependendo das características da função de produção.

A transferência apenas desloca a função de lucro, sem afetar a escolha ótima de insumos e a quantidade produzida. A princípio, os impactos do programa de racionamento sobre os lucros e taxas de falência são ambíguos, uma vez que em algumas especificações da função de produção os benefícios da transferência poderiam exceder os efeitos negativos do aumento dos custos elétricos. Entretanto, a eletricidade é considerada insumo essencial, especialmente no curto prazo e os gastos com esta representam uma parcela relativamente baixa do valor da produção, variando entre 0,5% e 7% nas indústrias da PIA. Sendo assim, nossa expectativa, a ser levada aos dados, é que para a grande maioria das firmas o racionamento tenha tido efeitos deletérios, pois as transferências recebidas em função dele ($t(E')$) representaram uma parcela pequena da produção.

Por fim, cabe ressaltar os impactos interregionais que afetam firmas em regiões não afetadas pelo racionamento e em que medida nossa estratégia captura estes efeitos. Isto porque as restrições impostas aos agentes racionados afetam decisões de investimento, produção e demanda destes, que por sua vez afetam a demanda e a oferta enfrentadas por agentes econômicos nas regiões não-racionadas. Como veremos, nossa estratégia de identificação compara o desempenho de firmas racionadas e não racionadas condicional aos choques temporais comuns. Portanto, na medida em que são incorporados aos choques temporais comuns efeitos de demanda e oferta nacionais, refletidos numa piora no cenário macroeconômico por exemplo, não são capturados pela estratégia de diferenças em diferenças. Por outro lado, nossa estratégia captura os efeitos de concorrência intra-setorial, uma vez que firmas nas regiões não racionadas passam a ter uma vantagem competitiva em relação as firmas racionadas decorrente do menor preço da energia.

Nas seções que seguem levaremos as hipóteses acima levantadas aos dados.