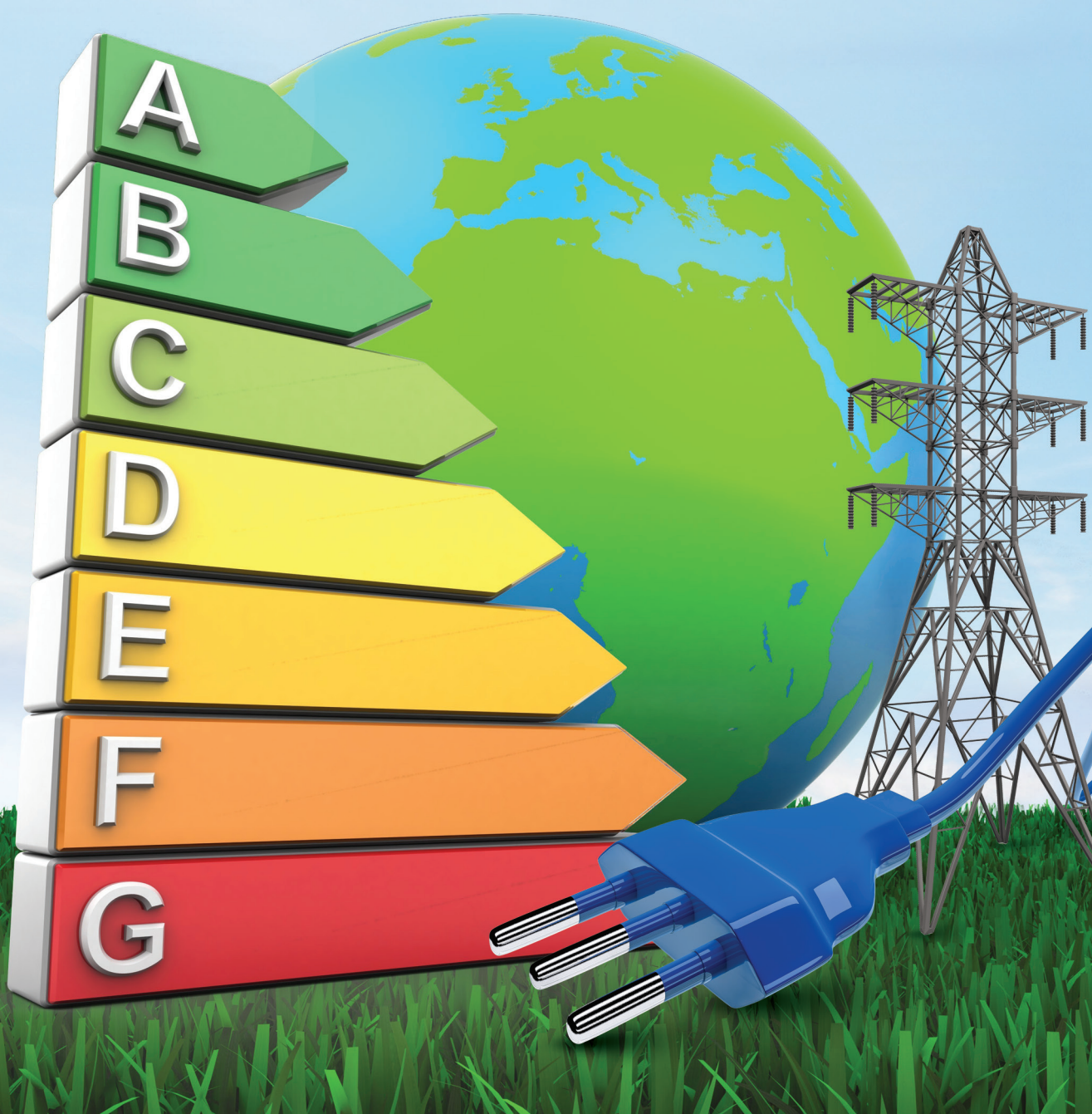


# ESTUDOS EM **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

RECOMENDAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

VOLUME 2



# ESTUDOS EM **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

RECOMENDAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

VOLUME 2

**MODELAGEM DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES  
COM INDICADORES PARA O SETOR INDUSTRIAL**

**Consultores responsáveis:**

Jamil Haddad e Luiz A. Horta Nogueira

Centro de Excelência em Eficiência Energética - EXCEN



**International Copper  
Association Brazil**  
Copper Alliance

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Indicadores de eficiência energética para o setor industrial .....</b>	<b>13</b>
2.1. Indicadores de referência para o consumo específico de energia .....	18
<b>3. Programas internacionais de acompanhamento da eficiência energética no setor industrial</b>	<b>23</b>
<b>4. Uso de energia na indústria no Brasil: uma perspectiva por subsetores .....</b>	<b>31</b>
4.1. Objetivos e metodologia.....	34
4.2. A visão dos subsetores industriais avaliados.....	35
4.3. Observações gerais e conclusões parciais.....	48
<b>5. Informações e dados sobre eficiência energética no setor industrial no Brasil .....</b>	<b>51</b>
5.1. Proposta de quadro de indicadores de uso de energia e eficiência energética no setor industrial brasileiro .....	53
<b>6. Comentários finais e recomendações.....</b>	<b>55</b>
6.1. Recomendações aos agentes econômicos e aos órgãos de governo .....	56
<b>Anexos .....</b>	<b>63</b>
1. Apresentação do estudo e questionário orientador das entrevistas realizadas em associações do setor industrial no Brasil.....	63
2. Associações industriais visitadas.....	65

---

## RESUMO EXECUTIVO

As indústrias brasileiras respondem por uma parcela importante do consumo de energia no país e seu uso racional, mediante tecnologias eficientes e práticas operacionais corretas, é fator de redução de custos, incremento da competitividade e mitigação dos impactos ambientais do uso de energia.

Diversos países têm promovido e avaliado o impacto de programas de fomento à eficiência no setor industrial, com resultados relevantes, que encorajam reforçar ações similares no Brasil. Expectativas de ganhos de eficiência têm sido incorporadas às projeções do consumo apresentadas pela EPE, estimando para 2030 uma economia anual de 35,2 Mtep ou 8,7% do consumo total de energia, cabendo à indústria 39% dessa economia. Com relação à energia elétrica, o Plano Nacional de Energia – PNE 2050 indica que medidas de eficiência energética em indústrias podem responder por 23% da energia economizada no país, cerca de 23 TWh em 2030, 2,4% da energia elétrica que seria consumida no Brasil caso medidas de uso racional não forem adotadas. Considerando os resultados que têm sido obtidos em outros países, essas expectativas podem ser consideradas modestas e, portanto, factíveis.

Para que essas metas de economia de energia se viabilizem, é essencial que se reforcem as ações de governo nesse campo, cabendo prover informações consistentes que subsidiem as medidas a adotar, indicando as prioridades e os potenciais mais interessantes, reduzindo os riscos e estimulando os agentes a desenvolverem projetos e programas de eficiência energética.

Atualmente o Balanço Energético Nacional, BEN, apresenta informações sobre o consumo de energéticos para o setor industrial e os subsetores mais importantes, em alguns casos informando também valores médios dos consumos específicos (relativos ao volume físico de produção) e intensidades energéticas (relativas ao valor econômico da produção). Estatísticas mais detalhadas sobre o perfil energético dos subsetores industriais têm sido levantadas em diversos países, permitindo comparações entre as empresas e frente ao contexto internacional, mediante consumos específicos de referência, como BAT (“Best Available Technology”) e BPT (“Best Practice Technology”), que permitem inferir potenciais de economia de energia de médio e longo prazo para um dado subsetor industrial.

Para reforçar a base de dados e informações sobre uso de energia no setor industrial brasileiro, e ampliar os dados atualmente disponíveis no BEN, é importante contar com a cooperação do setor industrial. Como uma contrapartida dessa cooperação, ao proporcionarem um quadro mais detalhado dos consumos de energia, as indústrias poderão melhorar suas próprias práticas de gestão energética e reduzir seus custos, como tem sido observado em outros países.

Visando conhecer a disponibilidade de informações e o interesse em promover a eficiência energética, bem como considerando a magnitude do consumo energético subsetorial, a importância relativa dos custos de energia, a homogeneidade dos produtos (que permita uma comparação entre unidades produtoras) e a existência de uma entidade de representação atuante, foram selecionados e entrevistados representantes de cinco subsetores industriais: Alimentos e bebidas, Cimento, Metalurgia (agregando Ferro-gusa e aço, Ferro-ligas, Mineração e Pelotização, Não ferrosos e outros da metalurgia), Papel e celulose e Química, que representam 59% da energia total, 66% da energia elétrica e 57% do gás natural utilizados pelo setor industrial.

#### Síntese da visão dos subsetores e potencial para proporcionar dados sobre consumos específicos de energia em processos industriais

Subsetor/Entidade	Aspectos a ponderar	Aspectos positivos
Alimentos e bebidas ABIA	Porte das empresas e perfil de produção muito diversificado, sem estatísticas regulares do consumo energético por segmento.	Está começando a atuar em eficiência energética.
Cimento ABCP		Homogêneo, com sistemas regulares de acompanhamento dos consumos específicos de energia elétrica e combustíveis.
Metalúrgico ABM	Perfil de produção diversificado.	Possui uma prática de acompanhamento de consumos específicos de energia, com dados das empresas abertos em congressos técnicos.
Papel e celulose ABTCP		Homogêneo, com cultura na valorização da eficiência energética e transparência de dados entre as empresas.
Químico ABIQUM	Perfil de produção diversificado.	Possui um sistema implementado para acompanhamento de consumos específicos de energia.

Nas entrevistas ficou evidente a preocupação com a sustentabilidade ambiental como uma das motivações para promover a eficiência energética e melhorar as bases de dados de consumo de energia. Não se constatou de forma clara uma preocupação com custos e segurança no suprimento energético, como motivação para promover a eficiência energética, embora possivelmente essa posição esteja mais evidente junto às empresas. Em nenhuma das associações visitadas se soube de programas próprios, explicitamente dedicados ao fomento da eficiência energética, que é promovida, em diferentes níveis, pelas próprias empresas.

Tendo em vista o nível de maturidade observado e as iniciativas já implementadas para acompanhar a evolução dos consumos específicos de energia, poderia ser sugerida a seguinte ordem de prioridade entre os subsetores estudados, para articular medidas junto às associações setoriais visando reforçar a base de dados do consumo de energia na indústria: 1) Indústrias química e de cimento, e 2) Indústrias metalúrgica e de papel e celulose. Os resultados obtidos com esses subsetores poderão subsidiar medidas similares a serem implementadas progressivamente em toda a indústria.

#### Indicadores já disponíveis e por desenvolver do consumo de energia no setor industrial e subsetores relevantes no Brasil

Indicador	Situação	Responsabilidade atual e prospectiva
Intensidades energéticas médias.	Disponível no BEN, anual.	EPE, a partir de informações fornecidas pelas associações da indústria e IBGE.
Consumos específicos médios.	Disponível no BEN, anual.	EPE, a partir de informações fornecidas pelas associações da indústria.
Participação da cogeração no consumo.	Disponível no BEN, anual.	EPE, a partir de informações fornecidas pelas associações da indústria.
Consumos específicos extremos e sua distribuição estatística.	Disponível em alguns subsetores industriais, anual.	Possivelmente EPE, endossado pelo MME, em articulação com as associações da indústria.
Consumos específicos de referência (BPT).	Não disponível, avaliado a cada 5 anos.	Possivelmente a ser determinado pela EPE, com base nos indicadores anteriores.
Balanco de energia útil.	Não disponível, avaliado a cada 5 anos.	Possivelmente a ser promovido pelo MME/EPE.

Os dados e informações para promover a eficiência energética no setor industrial constituem uma temática extensa. A bem da simplicidade e viabilidade, se considera factível a implementação de aperfeiçoamentos na plataforma existente de indicadores em eficiência energética nas indústrias, em prazos relativamente curtos, possibilitando a obtenção de resultados em prazos igualmente curtos, embasando avanços progressivos, ampliando a cobertura e profundidade dos sistemas de informações sugeridas e suas consequências. A existência de dados regulares e qualificados sobre o consumo de energia nas unidades produtoras de alguns subsetores industriais, que podem/devem ser utilizados de forma mais ampla e objetiva, é um fator positivo.

A partir do reforço das bases de dados de consumo de energia em indústrias, em condições de efetuar comparações consistentes, o próximo passo poderá ser a definição de metas factíveis para melhoria do desempenho energético dos processos produtivos em unidades industriais, início dos ciclos de intervenção e monitoramento/avaliação dos resultados em nível subsetorial.

# 1. INTRODUÇÃO

Na forma de eletricidade e combustíveis, energia é um insumo essencial em qualquer processo produtivo, sendo também um componente relevante dos custos na maior parte das indústrias. Por isso, seu uso racional, mediante tecnologias eficientes e práticas operacionais corretas, é um dos fatores de redução de custos e incremento da competitividade em indústrias de todo o mundo e mitigação dos impactos ambientais do uso de energia. Além disso, o setor industrial responde por grande parte da energia consumida nos países, em 2017 significando em média 26,7% do consumo final total de energia, e no caso brasileiro, de forma ainda mais elevada, respondendo por 33,2% do consumo nacional de energia (MME, 2018a).

A intensidade energética, relacionando o consumo de energia com o valor econômico agregado (adicionado) em um dado setor, é o indicador clássico da eficiência no uso da energia em atividades econômicas, ainda que muito agregado e reconhecidamente imperfeito. No caso da indústria as imperfeições decorrem principalmente da influência dos preços dos insumos e dos produtos, do processo e da matéria prima empregada, que tornam difícil correlacionar de forma simples a intensidade energética com o desempenho energético estrito, avaliado em consumo de energia por unidade física de produto. Não obstante, de forma diversa da maioria dos países nos quais a intensidade energética da indústria vem se reduzindo de modo expressivo, no caso brasileiro esse parâmetro pouco se alterou, como indicado na Figura 1 para alguns subsetores que, em sua maioria inclusive, apresentaram crescimento em sua intensidade energética nos últimos anos.

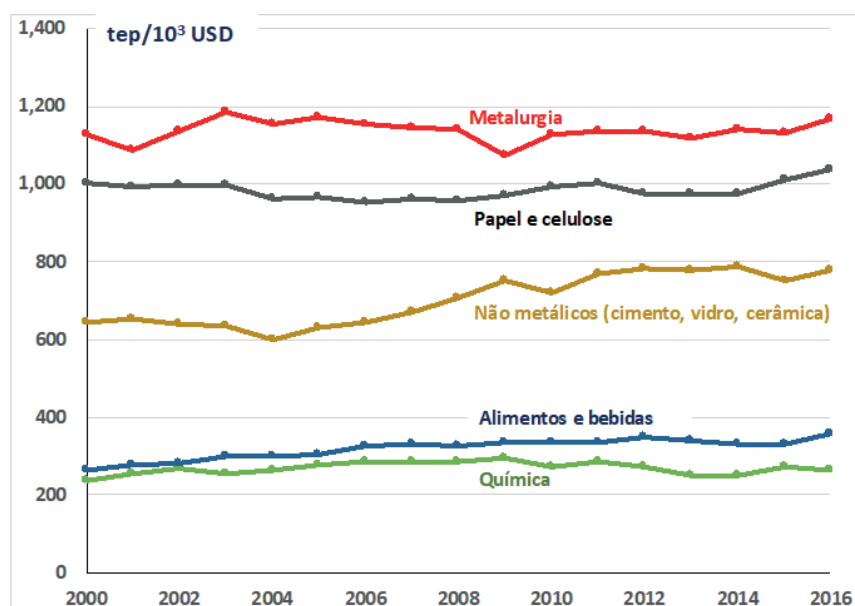


Figura 1. Evolução da intensidade energética em subsectores industriais no Brasil (a partir de EPE, 2018)



Considerando apenas a eletricidade, em 2017 as indústrias brasileiras consumiram 167,1 TWh, 35,9% do consumo total, participação que atingia 45,9% nos anos 90. Como apresentado na Figura 2, o crescimento do consumo no setor industrial foi inferior ao crescimento do consumo total, consequência da perda de dinamismo da economia brasileira na última década (EPE, 2018), mas a indústria ainda é o principal setor consumidor de energia elétrica no país.

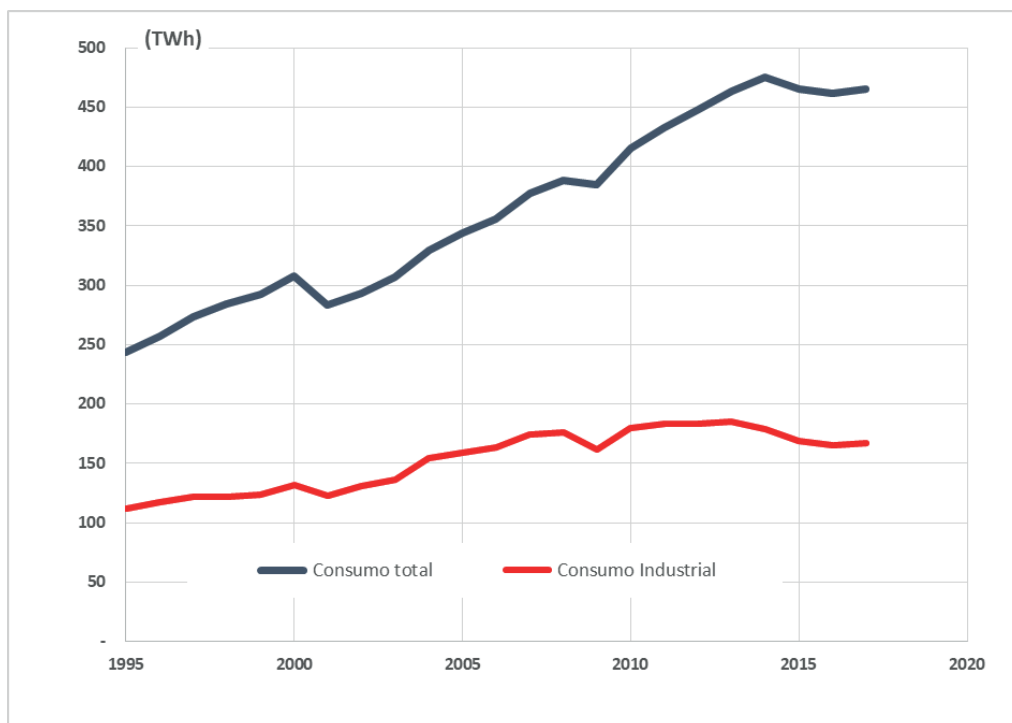


Figura 2. Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil (a partir de EPE, 2018)

Reconhecendo o amplo potencial para redução de perdas desnecessárias e desperdícios de energia no setor industrial, cresce no Brasil a preocupação por entidades públicas e privadas em promover a eficiência energética nas indústrias, com benefícios econômicos e ambientais para a sociedade e para as próprias indústrias. O consumo industrial de energia se apresenta concentrado em um número reduzido de setores e unidades consumidoras, possibilitando uma ação mais focada na promoção da eficiência energética. Como se apresenta no Capítulo 3, diversos países têm atuado de forma decidida nesse sentido, promovendo e acompanhando o impacto de programas específicos de fomento à eficiência no setor industrial, com resultados relevantes, que encorajam ações similares no Brasil.

Como um sinal positivo da consciência governamental nesse campo, expectativas de ganhos de eficiência energética têm sido incorporadas às projeções do consumo de energia no Brasil. Considerando todos os vetores energéticos, estudos da Empresa de Pesquisa Energética, EPE, estimam para 2030 um consumo total de 402,8 Mtep, incorporando uma economia anual de 35,2 Mtep ou 8,7% do consumo sem considerar medidas de eficiência energética, com as quais os setores de transporte



(47,7%) e indústria (39,2%) responderiam pelas economias mais expressivas (EPE, 2013). Particularmente com relação à energia elétrica, estimativas do potencial de economia apresentadas no Plano Nacional de Energia – PNE 2050 indicam que a adoção de medidas de eficiência energética em indústrias pode responder por aproximadamente 23% da energia economizada no país, cerca de 23 TWh em 2030 e 72 TWh em 2050, significando respectivamente 2,4% e 4,5% da energia elétrica que seria consumida no Brasil, caso medidas de uso racional não forem adotadas (EPE, 2015). Tais expectativas de economia de energia, considerando os resultados que têm sido obtidos em outros países, podem ser consideradas relativamente modestas e, portanto, realmente factíveis.

Contudo, para que essas metas de economia de energia se viabilizem, é essencial que se reforcem as ações de governo nesse campo. Entre as dificuldades e barreiras mais frequentemente observadas na implantação de programas de eficiência energética se destaca a falta de informações consistentes que subsidiem as medidas a serem adotadas, indicando as prioridades e os potenciais mais interessantes, reduzindo os riscos e estimulando os agentes envolvidos a desenvolverem projetos e programas. De fato, a obtenção de dados e informações sobre quanto se consome e como ocorre o uso de energia é fundamental e todos os programas governamentais têm destacado ações no sentido de prover informações de forma sistemática e bem fundamentada. No Brasil o quadro não será diferente, sobretudo no setor industrial (CEBDS, 2016).

Para enfrentar esse desafio no contexto brasileiro, procurando prover os órgãos de governo e os agentes econômicos com informações consistentes que fundamentem e orientem ações efetivas, o presente documento, correspondente ao Produto 3 (preliminar) do projeto “Estudos em Eficiência Energética” desenvolvido pelo Procobre e EXCEN para o MME, se refere à Modelagem de um Sistema de Informações com Indicadores para o Setor Industrial, apresenta nos próximos capítulos os seguintes temas:

1. Revisão conceitual e metodológica sobre indicadores de eficiência energética no setor industrial (tema do Capítulo 2, a seguir).
2. Análise dos programas internacionais de acompanhamento da eficiência energética no setor industrial (tema do Capítulo 3)
3. Avaliação do quadro atual das informações e dados para acompanhamento da eficiência energética no setor industrial no Brasil, com análise das informações disponíveis e proposição de: a) metodologias para obtenção e processamento de dados do setor industrial, b) ações para complementar as informações e dados disponíveis e c) indicadores de uso de energia e eficiência energética no setor industrial brasileiro (temas dos Capítulos 4 e 5).
4. Proposição de mecanismos para reforçar o fluxo de informações e aperfeiçoar os indicadores de eficiência energética, bem como de recomendações aos agentes econômicos e aos órgãos de governo (tema do Capítulo 6).

---

## 2. INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O SETOR INDUSTRIAL

Os sistemas energéticos modernos são redes complexas de exploração de recursos energéticos, envolvendo sucessivos processos de conversão, armazenamento e transporte de energia, com um alto nível de perdas, até que finalmente se obtenham os efeitos térmicos, mecânicos, de iluminação pretendidos, para mencionar alguns usos finais importantes. Na grande maioria dos casos, esses efeitos úteis no ponto de consumo correspondem apenas a uma fração da energia primária extraída da natureza. No entanto, considerando as tecnologias disponíveis, bem como a adequada concepção e o correto uso dos equipamentos e sistemas energéticos, tais perdas de energia podem e devem ser mantidas em níveis economicamente aceitáveis, já que reduzir as perdas a zero seria muito caro e inviável. Neste capítulo se busca revisar os principais conceitos associados à eficiência energética e os indicadores adotados para sua avaliação no contexto industrial.

As perdas economicamente evitáveis de energia podem ser associadas a três grupos de causas (Nogueira, 2010):

**Projeto deficiente:** falhas do projeto em termos de design, materiais e processos de fabricação do equipamento e/ou sistemas impõem perdas de energia que poderiam ser evitadas. A evolução tecnológica e as mudanças no valor relativo dos insumos energéticos podem alterar a viabilidade de um sistema ou processo ao longo do tempo. Por exemplo, os processos por rota úmida na fabricação de cimento, adotados há algumas décadas, foram progressivamente substituídos por processos a seco, que impõem maiores investimentos em equipamentos, mas consomem menos energia.

**Operação ineficiente:** a gestão inadequada de insumos de energia em instalações industriais bem projetadas e bem construídas leva a perdas energéticas, muitas vezes elevadas. Melhores níveis de consciência e informação sobre as possibilidades e implicações do uso incorreto da energia permite obter economias sensíveis.

**Manutenção inadequada:** uma parte das perdas de energia pode ser minimizada por meio de procedimentos de manutenção corretiva e preventiva, incluindo a limpeza das superfícies de troca de calor e o ajuste dos sistemas de controle, de modo que os sistemas de energia mantenham, na medida do possível, melhor desempenho contra variações de carga ou outras condições operacionais.

Com frequência, as possibilidades de reduzir as perdas e melhorar o desempenho dos sistemas energéticos não são percebidas ou adequadamente avaliadas pelos usuários. De um modo geral, as medidas para aumentar a eficiência dos sistemas energéticos devem levar em conta os diferentes níveis de intervenção, particularmente com referência às causas mencionadas acima e, preservando a consistência econômica, articular sinergias e ações convergentes para promover a redução efetiva das perdas de energia. Assim, a difusão de equipamentos mais eficientes não exclui a recomendação de seu uso de forma correta e de sua adequada manutenção. Sob tais conceitos, é possível classificar os mecanismos de promoção da eficiência energética em duas grandes famílias de mecanismos complementares:

**1. Mecanismos de base tecnológica:** visam implementar o uso de equipamentos mais eficientes e adotar processos inovadores que reduzam as perdas de energia basicamente por intermédio de investimentos nos sistemas energéticos;

**2. Mecanismos de base comportamental:** baseiam-se em mudanças de hábitos, padrões de uso e sistemas de gerenciamento, reduzindo o consumo de energia sem alterar o parque de equipamentos de conversão de energia.

Esta classificação é importante na medida em que os custos associados aos mecanismos de base tecnológica são geralmente mais elevados, mas tipicamente também permitem uma avaliação mais objetiva dos resultados. Entretanto, é preciso acentuar, ambos os mecanismos são igualmente relevantes e não excludentes.

No amplo contexto dos sistemas energéticos industriais, a avaliação da racionalidade no uso da energia e, em particular, a medição do nível de eficiência energética, pode ser realizada em diferentes níveis de agregação, desde uma visão mais geral até o nível de uma avaliação quantitativa de ações voltadas para melhorar a eficiência em contextos e processos específicos. Assim, são possíveis indicadores para:

**A. Avaliação da intensidade energética** e sua evolução, por meio de indicadores agregados, como o consumo de energia por unidade de produto econômico ou valor adicionado, ou indicadores tecnológicos, associados à produção física, apresentando o consumo unitário ou específico de energia por unidade de massa ou volume de produto, para uma dada configuração de matéria prima, processo e produto. Tais indicadores, sejam avaliados de forma sistemática ao longo do tempo em um mesmo contexto (um mesmo setor, em um mesmo país, sob idênticas condições de contorno), sejam comparados (benchmarking) frente aos indicadores representativos ou melhores casos observados no país ou no exterior, fornecem uma importante referência do nível de desempenho energético, permitindo estabelecer tendências e determinar graus de progresso relativo de maneira concreta.

**B. Avaliação qualitativa/quantitativa das atividades e programas de promoção da eficiência energética,** por meio de indicadores de sua existência, alcance, coordenação em nível setorial, base jurídica e regulamentar, etc. Esse tipo de indicadores, ainda que limitados para avaliação dos impactos no consumo de energia, permite inferir o nível de compromisso e articulação na busca pela redução de perdas de energia, aspectos imprescindíveis para se promover a eficiência energética de forma consistente. Por exemplo, a certificação do processo de uma indústria pela ISO 50001, que estabelece diretrizes e orienta a gestão dos insumos energéticos, é um indicador positivo para o fomento da eficiência energética nessa indústria.

Os indicadores do primeiro grupo, embora diretamente relacionados com o consumo energético, quer sejam referidos ao produto econômico ou ao volume efetivo de produção industrial, apresentam limitações a se ter em conta na sua utilização.

No caso dos indicadores econômicos, com destaque para a intensidade energética, as principais limitações decorrem de o valor agregado ser diretamente dependente dos preços dos insumos e dos produtos, do processo e da matéria prima empregada, como observado no capítulo anterior. Por outro lado, a intensidade energética pode ser determinada de forma relativamente simples, abrangendo setores heterogêneos e permitindo a comparação entre setores, regiões e países, oferecendo uma base para plataformas para acompanhamento e comparação de políticas públicas de fomento à eficiência energética, como a International Energy Efficiency Scorecard desenvolvida pelo American Council for an Energy Efficient Economy (ACEEE, 2014).

Por sua vez, os indicadores de base física, embora apresentem maior comparabilidade e sejam relativamente independentes do valor econômico dos produtos e insumos, dependem de avaliações e medições efetuadas em sistemas reais, que nem sempre estão disponíveis ou são possíveis. É importante observar que ambos os indicadores, econômicos/agregados e tecnológicos, têm ampla utilização e são complementares.

A Tabela 1 apresenta faixas de variação para consumos específicos de energia para alguns produtos industriais e utilidades consumidas em indústrias, confirmando a ampla variação observada entre processos e empresas. Como era de se esperar, os processos mais econômicos em energia geralmente utilizam equipamentos mais sofisticados e caros, bem como utilizam insumos e processam matérias primas de maior qualidade e custo.

Tabela 1. Consumos específicos típicos em processos industriais

Produto ou utilidade	Consumo energético (MJ/t)	Observações
Aço estrutural	20 – 50	Produto acabado, a partir de minério.
Alumínio	227 – 342	Metal a partir da bauxita.
Calcário	0,07 – 0,10	A partir de jazidas naturais.
Cimento Portland	5 – 9	A partir das matérias primas.
Madeira serrada	3 – 7	A partir da árvore em pé.
Papel	25 – 50	A partir da árvore em pé.
Polietileno	87 – 115	A partir de petróleo.
Tijolos cerâmicos	2 – 5	A partir da argila.
Vidro comum	18 – 35	A partir das matérias primas.
Água tratada	0,001 – 0,010	A partir de reservatórios naturais.
Oxigênio	6 – 14	A partir do ar.
Vapor de processo	3 – 4	A partir da água natural, baixa pressão.

Fonte: Boustead e Hancock, 1985

No âmbito do planejamento energético brasileiro, indicadores de consumo energético industrial de caráter econômico e tecnológico têm sido extensivamente utilizados nos estudos prospectivos, para projetar demandas futuras de energia e inserir estimativas em diferentes cenários, como se exemplifica a seguir.

Com base nos estudos preliminares para o PNE 2050, se aponta uma redução da intensidade energética na indústria brasileira, indicada na Figura 3, em função de alterações esperadas na estrutura da indústria (de grande importância devido ao impacto dos setores energointensivos), expansão da autoprodução de energia elétrica e adoção de inovações tecnológicas.

Também apresentada no PNE 2050, na Tabela 2 se apresenta a evolução adotada para os consumos específicos de eletricidade na projeção do consumo dos setores mais relevantes na formação da demanda de energia elétrica, evidenciando igualmente ganhos de eficiência energética.

Naturalmente que essas expectativas estão baseadas em hipóteses de progressiva penetração de tecnologias e processos eficientes, insumos e matérias primas adequadas, etc., bem como em cenários dos perfis de demanda de produtos de cada setor (EPE, 2015).

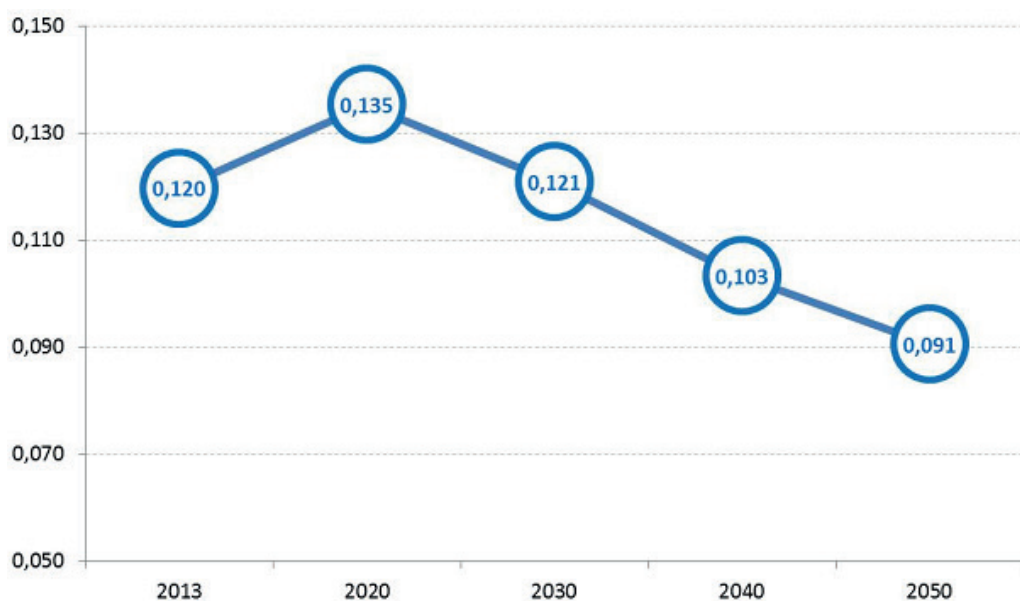


Figura 3. Projeção da intensidade energética industrial, Brasil (tep/103 R\$2010) (EPE, 2015)

Tabela 2. Evolução esperada dos consumos específicos de eletricidade de processos industriais relevantes (kWh por tonelada produzida)

Segmento	2013	2020	2030	2040	2050	2013 – 2050 (% ao ano)
Bauxita	13	13	12	12	12	-0,2%
Alumina	299	284	267	259	255	-0,4%
Alumínio Primário	14.752	14.089	13.405	13.099	12.978	-0,3%
Aço Bruto	512	500	462	444	447	-0,4%
Ferro-ligas	8.611	8.957	8.661	8.535	8.480	0,0%
Pelotização	49	48	47	46	46	-0,2%
Cobre primário	1.538	1.476	1.425	1.404	1.394	-0,3%
Soda-Cloro	2.722	2.639	2.558	2.515	2.479	-0,3%
Petroquímica (eteno)	1.590	1.524	1.490	1.491	1.471	-0,2%
Celulose (proc. químico)	980	939	899	882	877	-0,3%
Celulose (PAR)	2.189	2.125	2.057	2.024	2.009	-0,2%
Papel	791	761	731	717	712	0,3%
Cimento	112	107	101	97	93	-0,5%

Ao apresentar as perspectivas de reduções progressivas no consumo específico de energia em diversos processos industriais, cabe mencionar a existência de limites para tais reduções, como impõem as Leis da Termodinâmica. Com efeito, os processos reais de conversão de energia e materiais nas diferentes indústrias necessariamente atendem aos fundamentos da conservação de massa e energia, e às condições estabelecidas pelos processos reversíveis (geração nula de entropia como condição ideal). Ainda é reduzida a utilização explícita desses limites, por exemplo, por meio da análise exergética, entretanto com o progresso tecnológico está ficando cada vez mais claro que o aperfeiçoamento de processos apresenta limites, que se impõem oportunamente considerar.

Tais limites, que estabelecem níveis mínimos teóricos de consumo de energia (ou mínimos termodinâmicos), permitem determinar de forma inequívoca o “grau de perfeição” de um dado processo industrial (Gutowski e Sekulic, 1985) e devem progressivamente ser incorporados aos sistemas de gestão e monitoramento da eficiência energética. Como exemplos, empregando essa abordagem, estudos detalhados de usinas siderúrgicas na China indicaram que o consumo teórico mínimo de energia na produção de aço pode ser da ordem de 26% do consumo atualmente observado, 26,0 MJ/t (Sun et al, 2010), e análises semelhantes em plantas de produção de amônia a partir de gás natural (reforma com vapor a 3 Mpa) indicaram um consumo teórico correspondente a 57% do consumo atual, 20,1 MJ/t (Liu, 2013).

De um modo geral, os valores que têm sido apresentados para os consumos teóricos indicam a existência de boas margens para aperfeiçoamentos adicionais que reduzam o consumo de energia, ao mesmo tempo em que confirmam que os processos de melhoria apresentam limites. Ou seja, à medida que os processos se aperfeiçoam e a gestão energética melhora, torna-se cada vez mais difícil obter ganhos significativos de eficiência. Nesse sentido, conhecer indicadores referência é interessante, como se apresenta a seguir.

## **2.1. INDICADORES DE REFERÊNCIA PARA O CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA**

Buscando estabelecer referências factíveis para o aperfeiçoamento energético dos processos industriais, entre os valores médios correntes e os mínimos termodinâmicos, tendo em vista os condicionantes econômicos e ambientais, e baseando-se em levantamentos comparativos amplos (benchmarking) dos valores de consumos energéticos realmente observados em um número razoável de unidades industriais, a UNIDO (United Nations Industrial Development Organization), a agência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, sugere que sejam adotados os seguintes indicadores de referência para consumos específicos de energia (em alguns casos podendo se separar os consumos de energia elétrica e combustíveis), em nível de subsetores industriais:



### Melhor tecnologia disponível (ou BAT, de “Best Available Technology”)

Corresponde ao consumo específico de energia, observado pela unidade produtora em escala industrial mais eficiente que esteja realmente em operação.

### Melhor tecnologia praticada (ou BPT, de “Best Practice Technology”)

Corresponde às tecnologias utilizadas em pelo menos 10% do volume total de produção, produzidos nas unidades produtoras mais eficientes (o decil mais eficiente), em escala industrial e em operação, devendo ser, portanto também economicamente viáveis.

Tais conceitos assumem que a comparação entre as unidades produtoras se realize em bases minimamente homogêneas em termos de qualidade dos insumos e produtos, com os consumos de energia e volumes de produção obtidos mediante levantamentos abrangendo amostras representativas e eventualmente todo conjunto de empresas/plantas industriais em uma dada região ou país. A Figura 4 representa os valores de BAT<sup>1</sup> e BPT para um subsetor industrial genérico, com dados de consumo energético específico em função dos volumes acumulados de produção para esse subsetor. Valores atualizados de BAT e BPT, bem como curvas desse tipo, determinados para diversos subsetores industriais relevantes (como química e petroquímica, siderurgia e metalurgia, processamento de não metálicos (cerâmica, cimento, vidro), têxtil, alimentos e bebidas) com abrangência regional ou global, estão disponíveis na literatura técnica, em valores médios e parâmetros estatísticos (ver por exemplo, UNIDO, 2010 e Saygin, Worrell et al., 2011).

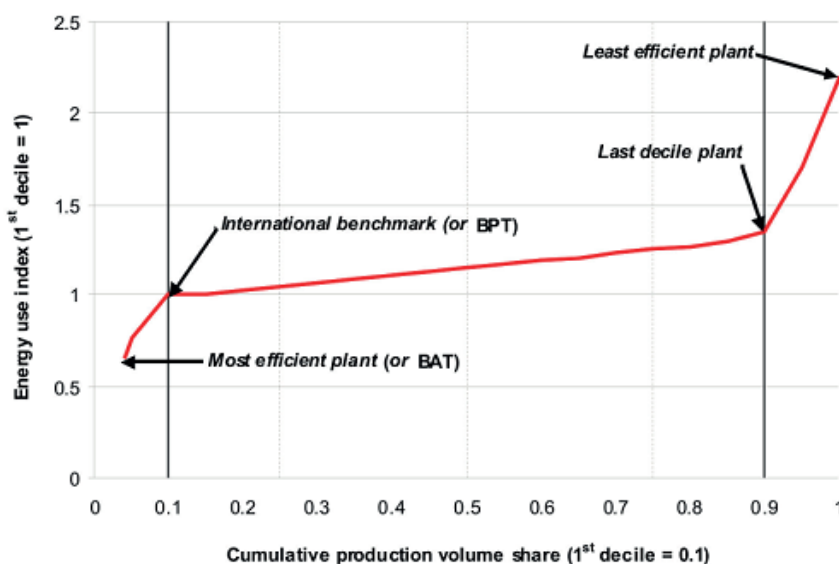


Figura 4. Curva dos consumos específicos de energia para um subsetor industrial genérico (UNIDO, 2010)

<sup>1</sup> Na literatura técnica o termo BAT tem sido algumas vezes utilizado também para designar processos unitários (resfriamento, geração e uso de vapor, secagem, etc.) de alta eficiência (no sentido de “Best Available Techniques”), que como poderia ser esperado são componentes necessariamente utilizados nos processos industriais que apresentam os menores consumos energéticos (LBNL, 2015).

Esses indicadores permitem inferir potenciais de economia de energia de médio e longo prazo para um dado subsetor industrial, assumindo a adoção de medidas de eficiência energética que promovam a redução dos consumos específicos aos níveis respectivamente do BPT e BAT. De forma genérica, se espera que os valores de BPT sejam cerca de 5 a 10% mais elevados que os valores de BAT (UNIDO, 2010). Projeções do consumo energético global no setor industrial, considerando estimativas de crescimento econômico e a progressiva incorporação de medidas de eficiência energética, têm sido apresentadas, sinalizando o contínuo processo de redução das perdas, como indicado na Figura 5 para o período 2007 a 2030, para cenários assumindo que a eficiência atual não se altere (“frozen efficiency”), evolucione tendencialmente (“baseline efficiency”), ou ainda que sejam implementadas medidas que levem à plena adoção dos consumos específicos de energia ao nível de BPT e BAT (UNIDO, 2010). Para se ter uma ideia da relevante magnitude das economias de energia indicadas nessa figura, basta lembrar que o consumo global total de energia observado em 2015 foi da ordem de 363 EJ (REN21, 2017).

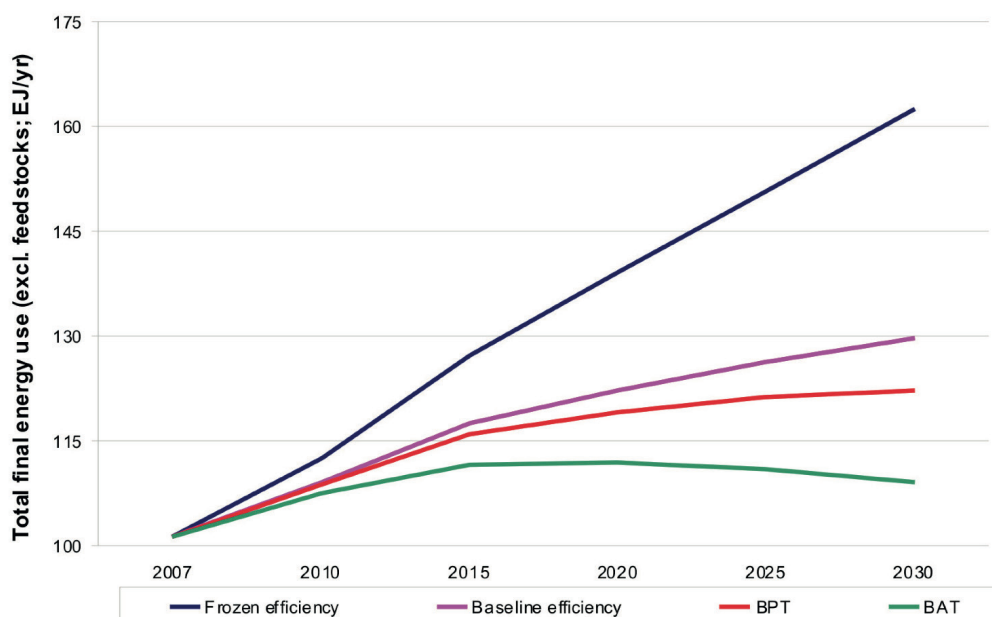


Figura 5. Projeção do uso global de energia no setor industrial (não inclui o uso de vetores energéticos como matéria prima) (UNIDO, 2010)

O levantamento dos consumos específicos de forma ampla e com suficiente cobertura das unidades industriais permite inferir os consumos específicos médios (ou ASEC, de Average Specific Energy Consumption) em base subsetoriais, determinados de modo ponderado pelo volume de produção.

Os valores de ASEC podem ser acompanhados ao longo do tempo e comparados com os valores observados em outros países, bem como indicar as unidades industriais com consumos específicos mais elevados, possivelmente as unidades a serem priorizadas em ações de fomento à eficiência energética.

Com base nos valores de ASEC e BPT para um dado subsetor industrial pode se definir o Índice de Eficiência Energética (ou EEI, de Energy Efficiency Index), que aponta as margens de racionalização do consumo e redução das perdas de energia para esse subsetor industrial:

$$EEI_{\text{subsetor,ano}} = [ASEC/BPT]_{\text{subsetor,ano}} \quad (1)$$

O EEI e indicadores similares cotejando os consumos específicos observados com consumos de referência (benchmark) têm sido amplamente utilizados como parâmetros para avaliação do desempenho energético do setor industrial, por instituições internacionais, como a IEA e UNIDO, e em diversos países (Li e Tao, 2017). Por exemplo, nos Estados Unidos o Energy Star Energy Performance Indicators (EPI's), considera como base de referência o quartil (25%) mais eficiente e permite acompanhar o incremento anual dos ganhos em eficiência energética (Boyd, 2017). No próximo capítulo são apresentados programas de fomento à eficiência energética no setor industrial que vêm sendo desenvolvidos em alguns países e que utilizam indicadores como EEI para o acompanhamento dos resultados.

Naturalmente que tais avaliações pressupõem uma base consistente de informações e dados, devendo as comparações serem efetuadas de modo criterioso, considerando a possibilidade de que as diferenças observadas nos consumos específicos de energia decorram de causas não intrinsecamente associadas à eficiência dos processos, podendo estar também associadas à composição das matérias primas, especificações dos produtos, fatores de carga, condições ambientes, etc., como já mencionado.

Do mesmo modo, quando utilizados indicadores agregados como a intensidade energética no contexto industrial é oportuno separar e identificar a contribuição de fatores como a estrutura da indústria (por ex. o aumento da participação relativa de subsetores energointensivos afeta diretamente o consumo), a expansão da produção (em termos econômicos) e a eficiência propriamente dita. A Figura 6 apresenta a composição das variações da intensidade energética entre 2000 e 2016 no setor industrial de países membros da IEA e das principais economias emergentes, mostrando como a expansão da produção explica o crescimento do consumo de energia nas indústrias do segundo grupo de países, apesar do incremento na eficiência energética observado nesse período (IEA, 2017b).

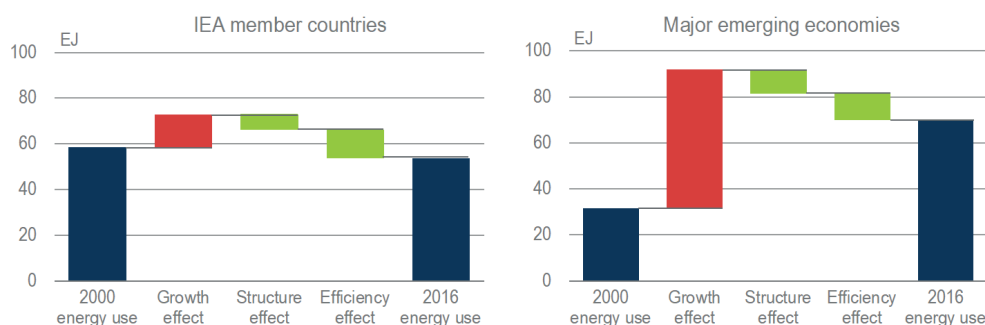


Figura 6. Decomposição da variação do consumo de energia no setor industrial entre 2000 e 2016 (IEA, 2017b)

---

### 3. PROGRAMAS INTERNACIONAIS DE ACOMPANHAMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR INDUSTRIAL

A promoção da eficiência energética, de uma forma geral e em particular considerando o setor industrial, no contexto das ações de governo, tem sido desenvolvida essencialmente sob duas motivações, de ordem econômica e ambiental. A possibilidade de produzir bens e serviços com menor consumo de insumos energéticos, utilizando processos mais eficientes e de modo mais racional, permite reduzir custos, melhorando a competitividade econômica e a segurança energética, e em muitos casos, gerando benefícios adicionais interessantes. Esse foi o principal fator que estimulou as ações governamentais de fomento à eficiência energética nos anos setenta, como uma resposta aos choques de petróleo. Posteriormente, somaram-se a questão econômica os temas ambientais, com a maior consciência dos impactos locais associados ao consumo de energia e dos riscos de mudanças climáticas decorrentes do uso de combustíveis fósseis.

Assim, na atualidade em praticamente todos os países e de forma destacada nos países industrializados, os governos têm atuado de forma intensa na promoção da eficiência energética, como uma estratégia de Estado. Com efeito, incrementar a eficiência energética tem sido uma das principais estratégias das políticas energéticas da maioria dos governos. Estima-se que a adoção de sistemas de gestão energética no ambiente industrial permite reduzir entre 10% e 30% do consumo de energia, promovendo vantagens que incluem aspectos econômicos (maior competitividade e produtividade, redução dos investimentos na infraestrutura de suprimento energético, melhor qualidade dos produtos, extensão da vida útil dos equipamentos, redução dos custos de manutenção, por exemplo), de segurança energética, meio ambiente (emissões atmosféricas, geração de resíduos sólidos, etc.), geração de emprego e qualidade de vida (IEA, 2014a).

Em alguns países, como no contexto europeu, a preocupação com as mudanças climáticas tem sido um dos principais motivos para melhorar a eficiência energética, inclusive porque as negociações internacionais no marco da UNFCCC (United Nations Framework Conference on Climate Change) e a definição de metas nacionais impõem a adoção de indicadores consistentes e comparáveis entre países. A este respeito, como um marco relevante, a Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, ADEME, a agência francesa para a promoção da utilização racional da energia, desenvolve desde 1993, com o apoio da Comunidade Europeia, o banco de dados ODYSSEE com o objetivo de monitorar a eficiência energética. Esse amplo sistema de informações utiliza indicadores comuns e harmonizados entre os países, essencialmente baseados em coeficientes de intensidade energética de caráter econômico e coeficientes técnicos de consumo de energia em setores específicos. Inicialmente foram propostos cerca de 600 indicadores de eficiência energética, posteriormente reduzidos a cerca de 30 indicadores de base e comparáveis, cobrindo todos os setores socioeconômicos, atualmente avaliados sistematicamente para 27 países europeus.

Procurando estender a outras regiões a abordagem do Programa ODYSSEE, a ADEME, com o apoio do Conselho Mundial de Energia (WEC, World Energy Council) vem ampliando para todos os países o levantamento de indicadores de eficiência energética, inclusive para o setor industrial. Ainda que com elevado nível de agregação, para o setor industrial foram disponibilizados mapas e tabelas para os anos 2000, 2010 e 2014 com dados da intensidade energética setorial (em kep por USD de 2005 ajustados por paridade de compra, Figura 7), do consumo específico de energia e da parcela atendida (%) por eletricidade no setor siderúrgico, da contribuição (%) da cogeração para o consumo de energia elétrica na indústria e da intensidade de geração de CO<sub>2</sub> (em kg de CO<sub>2</sub> por USD de 2005 ajustados por paridade de compra, Figura 8), com valores apresentados em termos absolutos, para cada ano, e como tendência, considerando a evolução observada nos anos estudados (WEC, 2018).



Figura 7. Intensidade energética industrial em 2014 (WEC, 2018)

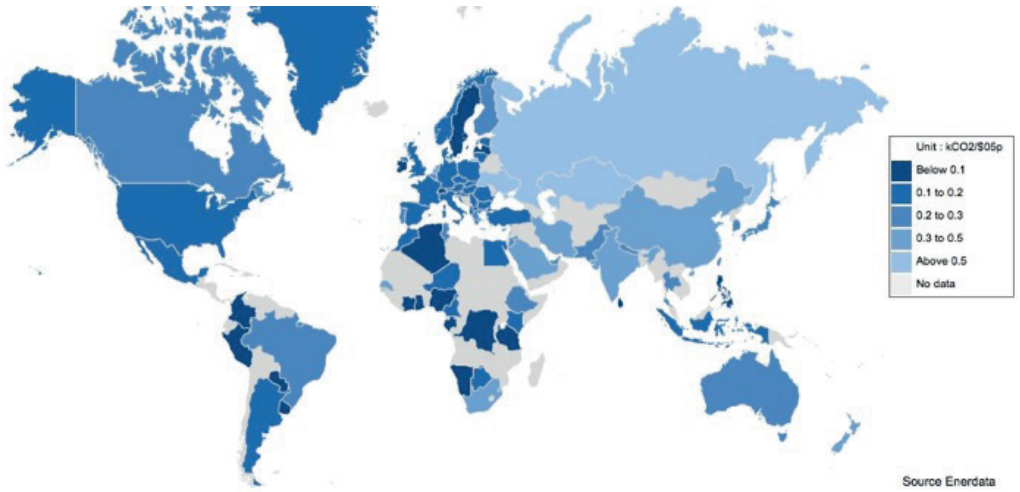


Figura 8. Intensidade em emissões de CO<sub>2</sub> pela indústria em 2014 (WEC, 2018)

Por sua importância como fonte de dados e referências metodológicas, é interessante apresentar como a Agência Internacional de Energia representa o setor industrial para avaliações da intensidade energética, conforme indicado na Tabela 3. Nessa tabela, para cada subsetor se apresenta a correspondente classificação de atividades produtivas ISIC, International Standard Industrial Classification, adotada pelas Nações Unidas (UN, 2008), agrupadas de modo a destacar as atividades mais relevantes em termos energéticos. De fato, como mostra a Figura 9, para os países membros da IEA, mas analogamente também para outras economias, a distribuição do valor agregado entre os subsectores é bem diferente da distribuição do consumo de energia.

Tabela 3. Subsetores industriais com intensidades energéticas apresentadas nos documentos da IEA (IEA, 2014b)

Grupo/Subsetor industrial	ISIC	Comentários
Grupo Manufatura		Exceto refinarias e coquearias.
Alimentos	10 a 12	Inclui bebidas e fumo.
Têxtil	13 a 15	
Madeira e produtos de madeira	16	Inclui, exceto celulose.
Papel, celulose e imprensa	17 e 18	
Produtos químicos e petroquímicos	20 e 21	Exclui matérias primas combustíveis.
Borracha	22	
Máquinas e produtos metálicos	25 a 28	Exceto equipamentos de transporte.
Equipamentos de transporte	29 e 30	
Outros produtos manufaturados	31 e 32	
Grupo Metais Básicos		Inclui produção e fundição.
Metais ferrosos	2410 e 2431	Inclui ferro-ligas.
Metais não ferrosos	2420 e 2432	
Grupo Minerais não metálicos		
Minerais não metálicos	23	Inclui cerâmica, vidro, cimento.

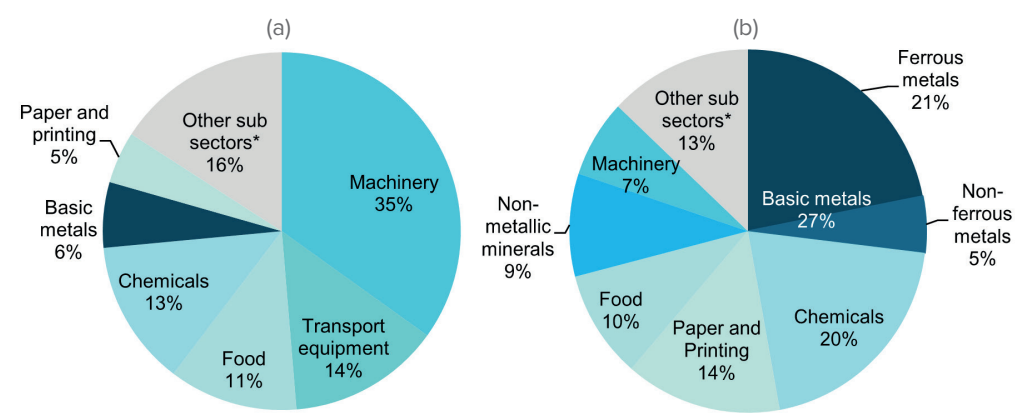


Figura 9. Distribuição entre subsectores industriais do valor agregado (a) e do consumo energético (b), para países membros da IEA em 2014 (IEA, 2017b)

Documentos de agências internacionais como a AIE e UNIDO também apresentam indicadores de consumo energético baseados na produção física, para facilitar a comparação entre os países, assim como a estimativa do potencial para melhorar a eficiência energética em subsetores industriais energointensivos e com produtos mais homogêneos, que admitem uma razoável adicionalidade dos volumes de produção, como ferro e aço, alumínio, cimento, celulose e papel e celulose. As próximas figuras exemplificam a maior comparabilidade dos indicadores físicos. A Figura 10 apresenta valores do consumo específico de energia térmica na produção de cimento, em (GJ/ton de clínquer<sup>2</sup>) e consumo específico de energia total, em (GJ/ton de cimento), observados em 2014 em países selecionados (inclusive Brasil, BRA), indicando também o BAT no consumo de energia térmica para processo a seco com pré-calcinador e seis estágios de ciclones de pré-aquecimento (linha azul tracejada) (IEA, 2017b). A Figura 11 mostra como variou o consumo específico de energia elétrica para a produção de alumínio em diversas regiões do mundo, entre 2000 e 2016, apontando ganhos expressivos de eficiência na China e no Golfo Pérsico<sup>3</sup>, exatamente as regiões onde mais se expandiu a produção desse metal (IEA, 2017b).

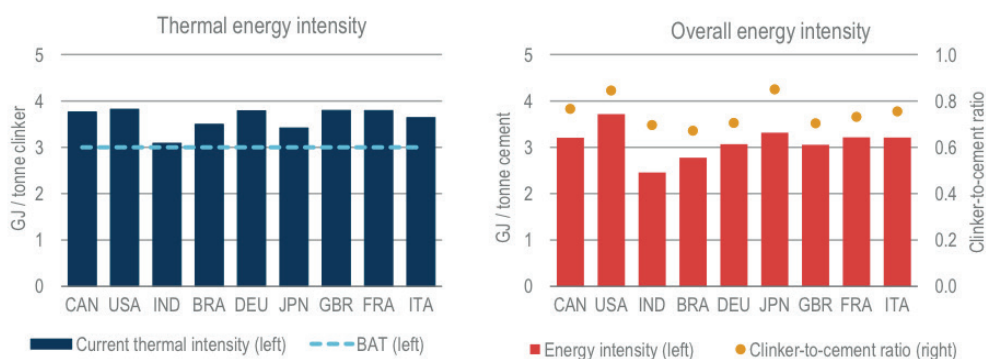


Figura 10. Consumo específico de energia na produção de cimento em 2014 em países selecionados (IEA, 2017b)

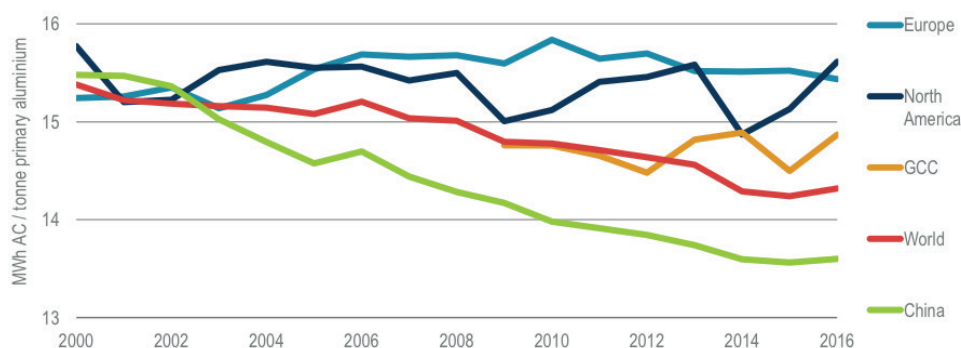


Figura 11. Consumo específico de energia elétrica na produção de alumínio em 2014 em regiões selecionadas (IEA, 2017b)

<sup>2</sup> Clínquer é um componente intermediário do cimento Portland, obtido da calcinação de matérias primas como calcário e argila, posteriormente adicionado a outros insumos e moído.

<sup>3</sup> Nessa figura, GCC significa Gulf Cooperation Council, organização de integração econômica que reúne seis países do Golfo Pérsico: Omã, Emirados Árabes Unidos, Arábia Saudita, Qatar, Bahrein e Kuwait.



Além dos dados disponíveis em estudos e relatórios das agências internacionais, apresentados nos parágrafos anteriores, os programas e iniciativas em âmbito nacional visando promover a eficiência energética no setor industrial também sinalizam a relevância e a necessidade de dispor de dados e informações consistentes e suficientemente detalhadas para o acompanhamento e efetiva avaliação dos resultados desses programas. Nesse contexto, é interessante observar os fundamentos e as experiências desenvolvidas nos últimos anos em alguns países em busca de incrementar a eficiência energética na indústria.

Com foco no contexto industrial, em países industrializados e de economia emergente, o Institute for Industrial Productivity, IIP, em cooperação com a IEA vem desenvolvendo estudos sobre as práticas e políticas relacionadas com eficiência energética em diversos países, avaliando experiências reais e fornecendo orientações práticas sobre como planejar e projetar, implementar, avaliar e monitorar programas de gestão energética em indústrias (IEA, 2012). Com esse propósito, o IIP mantém uma plataforma na internet, em colaboração com agências nacionais, reunindo informações sobre os programas executados em 15 países ou estados/províncias, procurando identificar as medidas em três categorias, que partem de níveis decisórios mais gerais, descendo ao processo de implementação no ambiente industrial (IIP, 2018):

**A) Políticas promotoras de ações em eficiência energética:** intervenções que motivam e impulsionam a eficiência energética, a economia de energia ou a redução de emissões de gases de efeito estufa em unidades industriais. Por exemplo, políticas com definição de metas de economia de energia, protocolos setoriais, acordos negociados entre indústrias e entes de governo.

**B) Medidas de apoio às políticas de eficiência energética:** medidas empregando incentivos e/ou penalizações que reforçam as ações e atenuam as barreiras à melhoria da eficiência energética, ampliando a eficácia das políticas promotoras de ações do tópico anterior. É o caso dos esquemas de financiamento específicos para projetos voltados à eficiência energética, obrigações de implementar sistemas de gerenciamento de energia e adotar certificações pela ISO 50001.

**C) Caixa de Ferramentas de Implementação:** busca oferecer recursos para atividades específicas de redução de perdas e desperdícios de energia, como podem ser programas de capacitação e treinamento, bases de informação e dados, modelos analíticos, listas de tecnologias eficientes, estudos de caso, etc., que suportam as políticas e medidas anteriores.

Na Tabela 4 se apresentam exemplos de programas nacionais para promoção da eficiência energética, especificamente para o setor industrial ou priorizando a abordagem desse setor. As principais fontes iniciais de informação, a partir das quais se buscaram referências originais junto às agências responsáveis nos diversos países, foram o Institute for Industrial Productivity (IIP, 2018) e o projeto MURE (Mesures d'Utilisation Rationnelle de l'Energie), coordenado pela ADEME, que mantém um banco de dados descrevendo e avaliando sistematicamente medidas de eficiência energética implementadas em diversos países (ODYSSEE-MURE, 2018), no qual podem ser encontrados maiores detalhes de cada programa e os resultados alcançados.

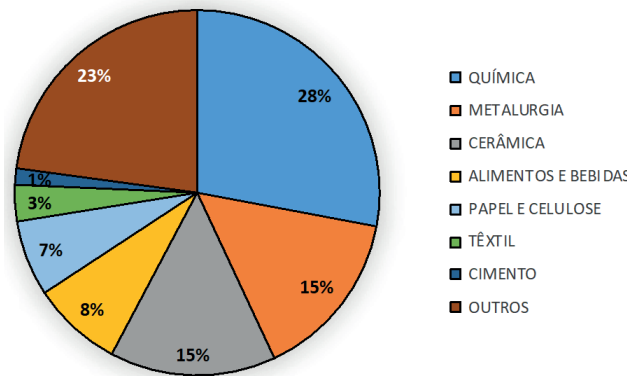
Tabela 4. Exemplos de programas nacionais de fomento à eficiência energética

País/Região	Programa/Ação	Descrição	Ano de implementação
Japão	Top Runner Program (METI, 2015)	Cobrimdo todos os setores socioeconômicos, esse programa estabelece e acompanha metas de eficiência para equipamentos e sistemas energéticos.	1998
Dinamarca	Denmark's Agreement on Industrial Energy Efficiency (DAIEE) (DEA, 2015)	O DAIEE resultou de ajustes no programa introduzido em 1993, estabelecendo acordos voluntários e metas de eficiência energética com a indústria.	2001
Austrália	Australia Energy Efficiency Opportunities Program (EEO) (IIP, 2018)	É um programa obrigatório para empresas intensivas e grandes consumidoras de energia, exigindo que identifiquem, avaliem e divulguem oportunidades de economia de energia.	2005
Irlanda	Energy Agreements Programme (EAP) (IIP, 2018)	Geridos pela SEAI (Sustainable Energy Authority of Ireland), os acordos voluntários visam estimular a eficiência energética nos maiores consumidores de energia na Irlanda.	2006
Portugal	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) (ADENE, 2016)	As empresas que usam mais de 500 tep por ano são obrigadas a realizar auditorias periódicas de energia e desenvolver planos de racionalização do consumo de energia, com objetivos mínimos de eficiência energética.	2008
China	Top 10.000 Enterprises program (IEPD, 2018)	As empresas são obrigadas a estabelecer um sistema de gerenciamento de energia adotando a norma chinesa GB/T 23331.	2011
União Europeia	Energy Efficiency Directive (EED) (IEA, 2017b)	A EED exige que os estados membros assegurem que as grandes empresas realizem auditorias energéticas regulares. As empresas que implementaram um sistema de gerenciamento de energia podem ser isentas dessa obrigação.	2012
Estados Unidos	Superior Energy Performance (SEP) Program (DOE, 2017)	Para serem certificadas pelo SEP, as indústrias devem implementar a norma ISO 50001 e auditores independente devem verificar o desempenho energético, enfatizando economias mensuráveis.	2012
Indonésia	Ministerial Regulation on Energy Management (IEA, 2017b)	As empresas que utilizam mais de 6.000 toneladas de equivalente de petróleo (tep) por ano são obrigadas a implementar um sistema de gestão de energia conforme a norma ISO 50001, adotada como norma nacional na Indonésia.	2012
Alemanha	National Action Plan on Energy Efficiency (BMWl, 2018)	Empresas são obrigadas a implementar um sistema de gerenciamento de energia de acordo com a ISO 50001 para solicitar isenções tributárias em energia e em taxas ambientais.	2014

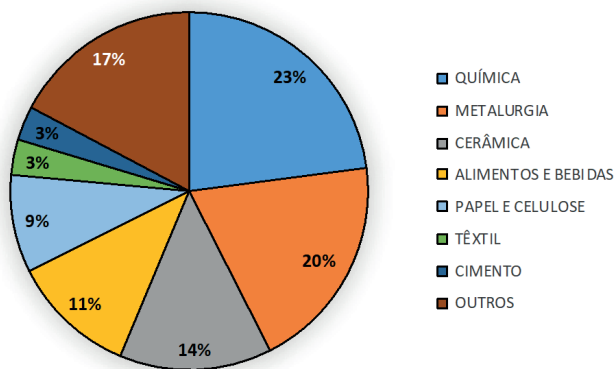
Os programas listados nessa tabela podem ser tomados como bons exemplos para que o Brasil avance na promoção da eficiência energética em indústrias. Em diferentes condições e contextos, apresentaram resultados positivos, avaliados em termos de energia efetivamente economizada, e em todos eles, a disponibilidade de dados consistentes sobre consumo específico de energia, constituiu um elemento decisivo, nas fases de planejamento, execução ou avaliação de resultados. Realmente seria impossível conceder benefícios, avaliar economias e reduções de demanda, sem conhecer os dados reais de produção de bens e o consumo de energia associado. Nos próximos capítulos esses temas são retomados desde uma perspectiva brasileira, em que também existem bons exemplos.

# 4. USO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA NO BRASIL: UMA PERSPECTIVA POR SUBSETORES

O Balanço Energético Nacional, BEN, editado anualmente pelo Ministério de Minas e Energia desde 1974, constitui um documento essencial para o acompanhamento do setor energético no Brasil, com um bom volume de informações sobre o setor industrial, detalhando o consumo de energia total e dos principais energéticos para os principais subsetores industriais, selecionados por sua importância no consumo. A Figura 12 apresenta a distribuição entre os subsetores industriais no consumo total de energia e de energia elétrica observado em 2016 (MME, 2017). Os setores identificados nessa figura (excluindo-se o subsetor Outros) respondem por uma parcela expressiva do consumo industrial, respectivamente 77% da energia total e 83% da energia elétrica.



a) Consumo total de energia (84.183 ktep)



a) Consumo de energia elétrica (195.346 GWh)

Figura 12. Participação setorial do consumo industrial de energia no Brasil em 2016 (a partir de MME, 2017).

Para os principais subsetores industriais o BEN apresenta a intensidade energética, como mostrado na Figura 1, e também o consumo específico de energia observado desde 1970 para os subsetores industriais com consumo energético mais relevante e produtos menos diversificados, para os quais há mais sentido em estabelecer consumos por unidade física de produção. Esse é caso dos subsetores de cimento, metalurgia (reunindo ferro-gusa e aço, ferro-ligas e não ferrosos e outros metalúrgicos, também identificados) e papel e celulose, cujos consumos específicos são determinados a partir de dados de consumo energético e volume de produção, fornecidos por associações setoriais, com um número representativo de unidades produtivas desses setores.

Cabendo as ressalvas já efetuadas anteriormente com relação ao perfil da produção (principalmente especificação das matérias primas e produtos), as Figuras 13 e 14 apresentam a evolução de 1990 a 2016 dos consumos específicos de energia total e eletricidade para cinco subsetores industriais, a partir de dados do BEN, em valores relativos ao consumo específico observado para cada subsetor em 1990 (MME, 2017).

A maior variação e o crescimento observado no consumo de energia e energia elétrica na produção de ferro-ligas possivelmente está determinada pela heterogeneidade da produção, que é bastante diversificada. Mesmo assim, o valor apresentado pelo BEN para o consumo total de energia nesse subsetor em 2009 se mostrou muito elevado (95% acima do consumo específico em 1990), sendo considerado atípico (“outlier”) e substituído pela média interanual na Figura 13. De modo significativamente diferente do comportamento da intensidade energética apresentado na Figura 1, em ambas as figuras se percebe uma redução ou relativa estabilidade do consumo específico de energia nas cimenteiras, na produção de papel e celulose e nas siderúrgicas, ainda que com a notável exceção no salto no consumo de eletricidade na produção de cimento (que determinou o aumento no consumo total) em 2016. Em síntese, os resultados de consumo específico dizem muito mais sobre o consumo real de energia nos processos.

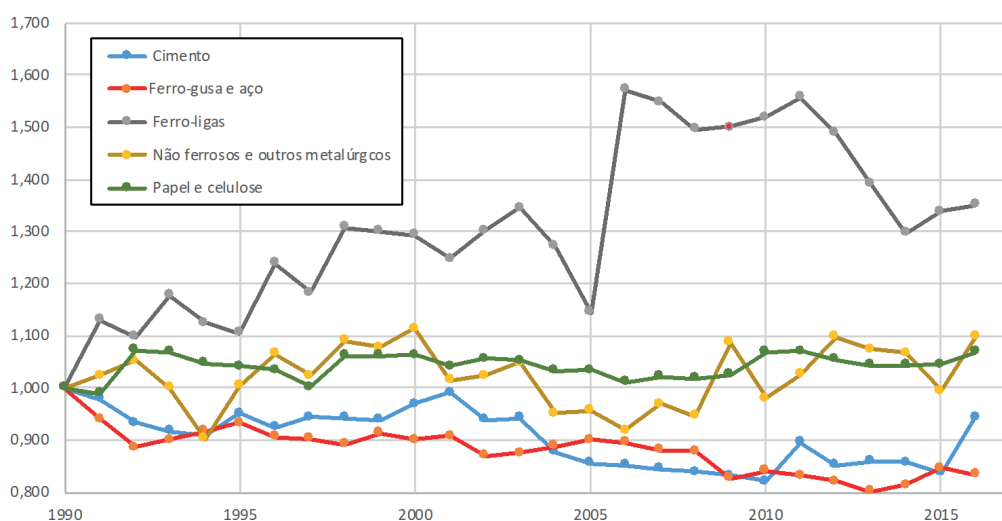


Figura 13. Evolução do consumo específico de energia para subsetores industriais selecionados no Brasil (a partir de MME, 2017).

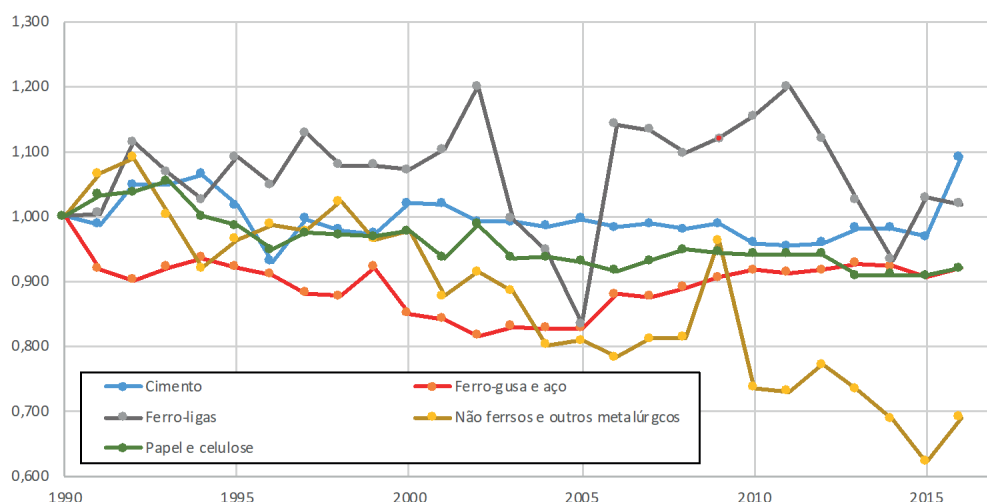


Figura 14. Evolução do consumo específico de energia elétrica para subsectores industriais selecionados no Brasil (a partir de MME, 2017).

Embora se reconheça a importância dos dados de consumo energético nas indústrias e em alguns subsectores industriais apresentados no BEN, eles não permitem efetuar um diagnóstico mais detalhado do desempenho energético nos subsectores industriais em função do nível de agregação e a ausência de informações mais detalhadas sobre onde e como se consome energia nos processos industriais, em termos de usos finais (potência motriz, iluminação, calor de processo, etc.), estimativas possíveis apenas mediante um Balanço de Energia Útil ou estudos dos processos industriais. Assim, por exemplo, ficam por avaliar as eficiências internas nos processos mais relevantes e não se informa o nível de dispersão dos consumos específicos médios apresentados, indicando por exemplo, os valores extremos (máximo e mínimo), apresentando limitadas informações que permitam orientar, de modo mais fundamentado, programas de fomento à eficiência energética em indústrias.

Para reforçar a base de dados e informações sobre uso de energia no setor industrial brasileiro, e ampliar os dados atualmente disponíveis no BEN, é importante contar com a cooperação do setor industrial, natural detentor das informações sobre produção física e consumo energético. Como uma contrapartida dessa cooperação, ao proporcionarem um quadro mais detalhado dos consumos de energia, as indústrias poderão melhorar suas próprias práticas de gestão energética e reduzir seus custos, como tem sido observado em outros países. A seguir se apresenta a metodologia de trabalho empregada para auscultar a visão de subsectores industriais selecionados e em seguida uma síntese das observações em cada subsector, finalizando com as conclusões parciais e observações gerais com referência à visão da indústria nesse tema.

## 4.1. OBJETIVOS E METODOLOGIA

Reconhecida a necessidade de articular formas de cooperação entre agentes do setor industrial e órgãos de governo, para identificar o nível de atenção para o uso de energia e o interesse em promover a eficiência energética em diferentes subsetores industriais, bem como para avaliar preliminarmente as possibilidades de sinergias e cooperação entre a indústria e o governo nesse campo, definiu-se um roteiro com as seguintes etapas:

a) seleção dos subsetores a serem contatados e entrevistados, b) pesquisa de informações na internet e bibliografia convencional, c) elaboração de um questionário orientador das entrevistas, apresentado no Anexo 1, enviado com anterioridade às entidades, d) realização das visitas e entrevistas, coletando informações e subsídios para o presente capítulo, e, e) redação e síntese das entrevistas e documentos.

Para a seleção dos subsetores a serem contatados, partiu-se dos subsetores apresentados no BEN (excluindo-se o subsetor Outros, cujo produto não está identificado) e se adotou como critério decisivo a existência de uma entidade representativa atuante, que proporcione uma interlocução qualificada, levando à definição de um conjunto de cinco subsetores a contatar. A Tabela 5 resume este processo, apresentando-se no Anexo 2 informações complementares sobre as entidades contatadas, com os nomes dos profissionais entrevistados.

*Tabela 5. Subsetores considerados para contato e selecionados para avaliação*

Subsetores industriais no BEN	Comentários	Entidade representativa selecionada
Alimentos e bebidas	Produtos heterogêneos, não muito intensivos em energia, com uma entidade representativa atuante.	ABIA Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação.
Cerâmica	Produtos heterogêneos, intensivos em energia.	Subsetor não selecionado
Cimento	Produto homogêneo, intensivo em energia, número limitado de unidades industriais, com entidade representativa atuante.	ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland.
Ferro-gusa e aço	Produtos diferentes, com importante consumo energético, número reduzido de unidades produtoras, com entidade representativa atuante.	ABM Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração.  (subsetores agrupados como subsetor Metalurgia, envolvendo metais ferrosos e não ferrosos)
Ferro-ligas		
Mineração e Pelotização		
Não ferrosos e outros da metalurgia		
Papel e celulose	Produto homogêneo, intensivo em energia, número limitado de unidades industriais, com entidade representativa atuante.	ABTCP Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel.
Química	Produtos diferentes, com uma entidade representativa atuante.	ABIQUIM Associação Brasileira da Indústria Química.
Têxtil	Produto heterogêneo, não muito intensivo em energia.	Subsetor não selecionado.



No caso dos subsetores agrupados como Metalurgia, além da ABM, a entidade representativa selecionada, também se contatou e se obtiveram dados de produção do Instituto Aço Brasil. Os subsetores correspondentes às indústrias Têxtil e Cerâmica não foram selecionados na medida em que suas entidades representativas não pareceram suficientemente interessadas ou envolvidas em temas energéticos, além do fato relevante de apresentarem um número elevado de unidades industriais e uma gama muito diversificada de produtos, o que torna mais difícil definir consumos específicos típicos. Não obstante, em atividades futuras, tais setores e outros poderão ser considerados, eventualmente agrupando indústrias energeticamente relevantes, como soda-cloro, vidro e cerâmica em um subgrupo de “Produtos Básicos não metálicos”, podendo mesmo incluir o cimento, conforme praticado na União Europeia.

Como forma de adiantar às entidades e aos entrevistados o contexto e as questões a serem exploradas, elaborou-se um breve questionário procurando estimular a identificação de: a) eventuais ações próprias em eficiência energética, destacando sua motivação, resultados e perspectivas, b) eventual existência de sistemas próprios de acompanhamento regular do consumo energético, inclusive como consumos específicos e individualizando valores por unidade produtora, c) como se avaliam os dados de consumo de energia apresentados no BEN, e d) como se recebe a possibilidade de ampliar o fluxo de dados de consumo energético e produção física, constituindo uma base de informações estatísticas sobre consumo de energia no respectivo subsetor industrial, com indicadores de consumos específicos, comparáveis às bases de dados energéticos no setor industrial, atualmente, disponíveis em outros países.

Assim, definidos os subsetores industriais a contatar, efetuado um primeiro levantamento de informações sobre esses subsetores, preparado e enviado o questionário com os temas a abordar, se combinaram as visitas e se realizaram as entrevistas durante o primeiro semestre de 2018, conduzidas sempre de forma conjunta pelos Profs. Jamil Haddad e Luiz Horta Nogueira, que em todas as entidades visitadas foram recebidos de forma atenciosa e interessada. Os resultados dessas atividades são apresentados a seguir.

## **4.2. A VISÃO DOS SUBSETORES INDUSTRIAIS AVALIADOS**

Com base nas entrevistas, documentos fornecidos pelas entidades visitadas e outras fontes complementares, se apresenta nos próximos tópicos um panorama sucinto dos subsetores estudados, em termos tecnológicos, econômicos e energéticos, e se avaliam suas perspectivas para ampliar a base de dados de consumo energético e reforçar as ações de fomento à eficiência energética.

## A. Alimentos e bebidas

Por conta de sua expressiva população e amplo território com clima adequado e boa disponibilidade de áreas para expandir a produção agrícola e pecuária, não surpreende que a indústria brasileira de alimentos seja uma das maiores do mundo, com uma diversificada gama de atividades, como laticínios, torrefação de café e produção de café solúvel, refinação e preparação de óleos vegetais, processamento de carnes, usinas de açúcar e álcool; produção de suco concentrado de laranja, fabricação de conservas e doces, fabricação de massas alimentícias e biscoitos, entre as mais importantes. Como um todo, em 2016 a indústria de alimentação faturou USD 176 bilhões no Brasil, com as exportações respondendo por 21% desse valor. Em termos econômicos e considerando os valores de 2016, os produtos mais importantes são os derivados de carne (26,4%), os resultantes do beneficiamento do café, chás e cereais (13,6%), os laticínios (13,6%), os óleos e gorduras (9,9%) e o açúcar (9,4%). Atuam na indústria da alimentação cerca de 35,6 mil empresas, sendo mais da metade localizadas na região sudeste e proporcionando 1,6 milhões de empregos diretos em todo o país (ABIA, 2018).

A Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação, ABIA, criada em 1964, representa todo esse setor e o plural em seu título já indica que de fato reúne os vários segmentos desse subsetor, com diversas comissões setoriais e temáticas, uma delas dedicada à energia e ao meio ambiente. Entretanto, ao analisar os relatórios dessa associação e conhecer sua ampla atuação, se constata que existe uma consciência da importância do uso racional da energia, insumo essencial em suas atividades produtivas e para a conservação dos produtos alimentícios, mas ainda não constitui um tema prioritário, salvo exceções particulares de algumas empresas. A energia e principalmente a energia elétrica é apontada como um componente importante nos custos desta indústria, junto com mão de obra, embalagens e logística, mas questões de ordem normativa e legal na produção de alimentos, meio ambiente e logística têm apresentado maior urgência.

A diversidade de contextos e o elevado número de unidades produtoras, em sua grande maioria (95%) micro e pequenas empresas (ABIA, 2018), representam desafios para implementar uma base de dados de consumos específicos de energia na fabricação de alimentos e bebidas. Contudo, existem nessa indústria, quarto principal subsetor em consumo de energia no setor industrial, potenciais interessantes de economia de energia, que merecem ser explorados (Drescher et al., 1998; USDA, 2010). Um estudo da distribuição do consumo de energia elétrica entre os diversos usos finais em indústrias europeias apontou os motores elétricos como componentes críticos na busca de incrementos de eficiência, conforme se apresenta na Figura 15. Corroborando essa informação, estudos realizados na Europa e possivelmente válidos também para o Brasil, diversas medidas foram identificadas para melhorar a eficiência dos processos na indústria de alimentos, com os sistemas de acionamento (motores elétricos) apresentando os impactos mais significativos, como indicado na Figura 16 (JRC, 2015).

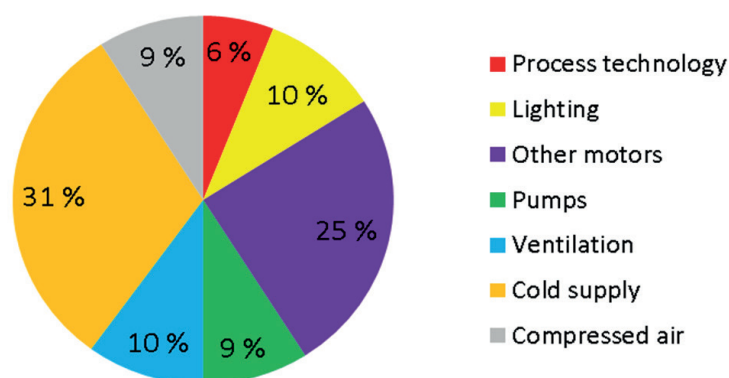


Figura 15. Composição típica do consumo de energia elétrica em indústrias de alimentos (JRC, 2015)

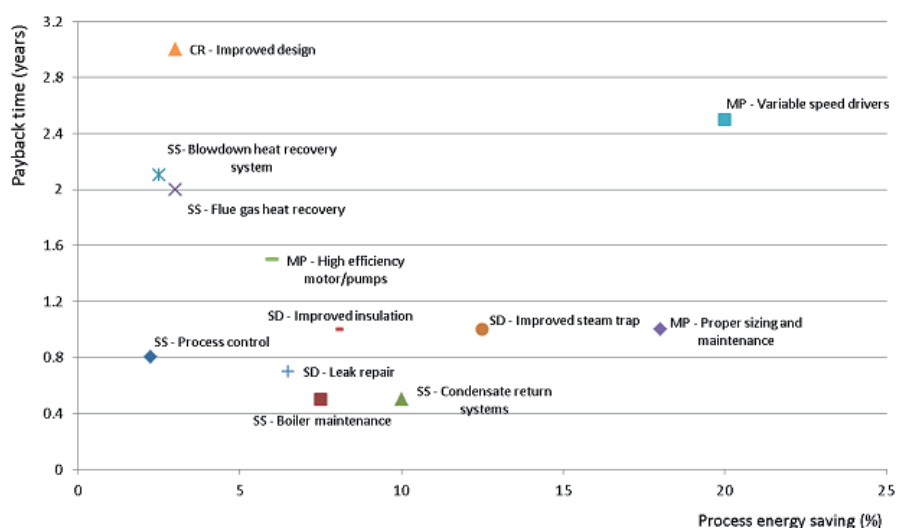


Figura 16. Tempo de retorno (anos) e economia de energia no processo (%) para medidas de eficiência na indústria de alimentos (SS: sistemas de vapor; SD: distribuição de vapor; MP: motores e bombas; CR: Refrigeração) (JRC, 2015)

Como um último comentário sobre as possibilidades para promover a eficiência energética no contexto da indústria de alimentos e bebidas, é interessante constatar que, como reiterado na entrevista na ABIA, a sustentabilidade dos processos industriais vem recebendo crescente atenção dos executivos dessa indústria, que se mostram preocupados com os aspectos ambientais e sociais, em um amplo sentido. Alinhada com essa preocupação, a redução das perdas energéticas traz implicações positivas relevantes para a sustentabilidade, pelo uso mais racional dos recursos naturais e menores impactos ambientais devido à redução do consumo de energia.

## B. Cimento

A produção de cimento, material essencial na sociedade moderna, envolve atividades integradas de exploração e beneficiamento de substâncias minerais (calcário e argila), sua transformação termoquímica em clínquer (cimento não pulverizado) e posterior moagem. Tais processos requerem um elevado aporte de energias térmica e elétrica, e pelo fato de serem liberados volumes expressivos de carbono atmosférico durante seu processo de fabricação, essa indústria tem recebido especial atenção em todo o mundo e vem aperfeiçoando bastante seu desempenho energético e ambiental.

No Brasil existem 100 fábricas de cimento, controladas por 24 grupos industriais, com uma capacidade instalada de cerca de 100 milhões de ton. por ano, gerando 25 mil empregos diretos, com um faturamento total de R\$ 21 bilhões em 2016 (MME, 2018b). Em função do quadro econômico adverso, a ociosidade nesse subsetor tem sido alta, com uma produção anual de 50 milhões de toneladas em 2017, segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2018).

A Associação Brasileira de Cimento Portland, ABCP, fundada em 1936, congrega as empresas desse subsetor e atua como órgão de suporte técnico na produção e uso de cimento, proporcionando treinamento e atualização aos profissionais dessa indústria. Entre as atividades da ABCP têm destaque as questões ambientais e a sustentabilidade dos processos industriais, desenvolvendo e divulgando estudos de Análise de Ciclo de Vida, acompanhando o consumo de energia das unidades de produção e promovendo a redução do consumo de combustíveis convencionais mediante a substituição por combustíveis de biomassa e o coprocessamento de resíduos como lixo urbano e pneus usados, atenuando passivos ambientais em bases economicamente interessantes.

Associado ao SNIC, a ABCP representa o Brasil em diversos fóruns sobre mudanças climáticas, entre elas a Cement Sustainability Initiative, CSI, um programa do Conselho Mundial para o Desenvolvimento Sustentável, WBCSD, apoiado pela Agência Internacional de Energia, IEA, envolvendo a indústria de cimento em mais de 100 países, estimulando a redução das emissões nessa indústria e o uso racional de seu produto. No âmbito do CSI foi preparado um “Low-Carbon Technology Roadmap” específico para a indústria brasileira, visando estabelecer rotas tecnológicas e estratégias regulatórias necessárias para que a indústria de cimento reduza suas emissões de carbono, em linha com as metas nacionais e os objetivos globais de mitigar as mudanças climáticas.

A Figura 17 apresenta projeções da composição de energéticos empregados na produção de cimento no Brasil e a expectativa de progressiva redução de emissões por essa indústria (IEA, 2018). Em síntese, se espera uma redução em 34% das emissões da indústria de cimento no Brasil, com significativo incremento à eficiência energética, redução em 47% do uso de combustíveis fósseis e redução de 23% na relação clínquer/cimento.

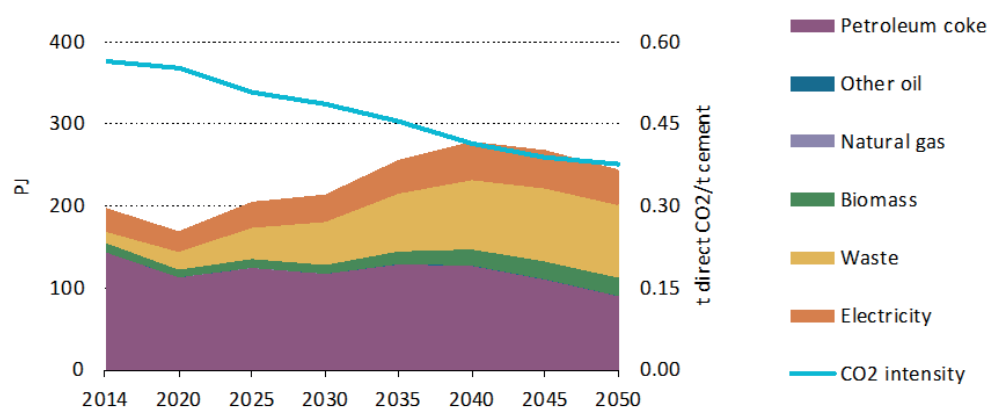


Figura 17. Projeções da demanda de energéticos e emissões na produção de cimento no Brasil (IEA, 2018)

Combinando as disponibilidades de biomassa e resíduos, o interesse em processar resíduos sólidos poluentes, como lixo urbano e pneus usados, e a demanda por alternativas aos combustíveis fósseis, o coprocessamento vem sendo adotado com bons resultados nos fornos rotativos das cimenteiras brasileiras. Embora o coque verde de petróleo seja o combustível mais utilizado, volumes crescentes de combustíveis alternativos têm sido empregados, como mostra a Figura 18 (Cortez e Goldemberg, 2016).

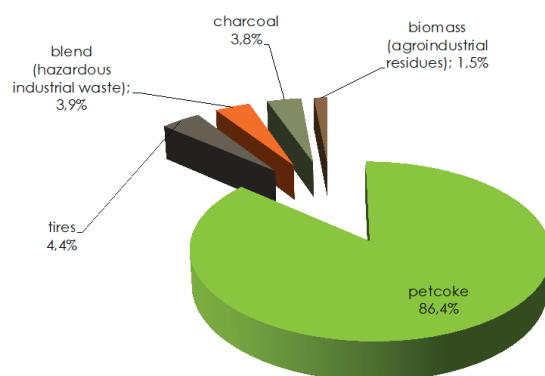


Figura 18. Combustíveis utilizados na produção de cimento no Brasil em 2014 (Cortez e Goldemberg, 2016)

Na indústria cimenteira existem diversas oportunidades de incremento da eficiência energética, como indicado na Figura 19, cabendo destacar: o controle e otimização de processos na produção de clíquer, a cogeração com aproveitamento do calor rejeitado no resfriamento do clíquer, o uso de misturas e matérias primas com menor consumo de energia e o uso de sistemas de moagem e classificação mais eficientes (IIP, 2015 citado por Henriques Jr, 2016).

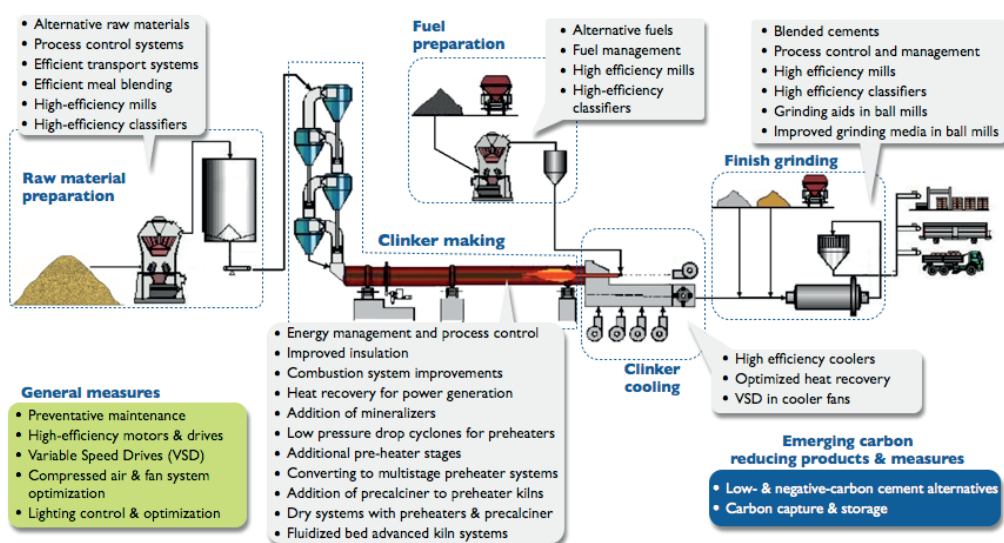


Figura 19. Medidas de fomento à eficiência energética na produção de cimento (IIP, 2015 citado por Henriques Jr, 2016)

Em comparação à indústria de cimento em outros países, a indústria brasileira apresenta um bom desempenho, com indicadores de consumo em faixas comparáveis aos observados em países que priorizam a eficiência energética e um dos menores níveis de emissões de carbono (IEA, 2008). Certamente contribui para esse quadro a ativa participação da entidade setorial, que permite também esperar que iniciativas no sentido de ampliar a base de dados de consumo de energia poderão ser valorizadas e bem recebidas.

### C. Metalurgia

Reunindo quatro subsetores industriais tratados separadamente no BEN (Ferro-gusa e aço, Ferro-ligas, Mineração e Pelotização e Não ferrosos e outros da metalurgia), este conjunto de indústrias constitui o segundo maior consumidor de energia no setor industrial, respondendo por 20% de demanda energética das indústrias brasileiras em 2016. Com efeito, as operações de redução e conversão de minérios em metais e seu posterior tratamento, purificação e conversão em produtos intermediários, como fios, barras e chapas metálicas impõem o uso de temperaturas elevadas e em muitos casos, como para o alumínio e o aço, expressivos consumos de energia elétrica.

Esse subsetor também inclui as fundições e indústrias de conformação de peças e partes metálicas sem usinagem, igualmente consumidoras importantes de energia. Apesar dessa diversidade, o fato de todos os casos trabalharem com metais permite um agrupamento conceitual oportuno, adotado em outros países e nas estatísticas do próprio Ministério de Minas e Energia.

A produção metalúrgica no Brasil, mesmo em um período de contração econômica, apresenta números expressivos. Em 2016, o Valor Agregado por esse subsetor foi de USD 30,4 bilhões, com exportações de USD 17,6 bilhões, 7,8% das exportações brasileiras nesse ano. Foram gerados mais de 100 mil empregos diretos e efetuados investimentos nos dois últimos anos, apenas em siderurgia (ferro-gusa e aço) da ordem de USD 1.250 bilhões por ano. A produção de aço bruto, 31,3 milhões de toneladas em 2016, coloca o Brasil como 10º maior produtor global desse insumo (MME, 2018c). Além dos metais ferrosos, também são produzidos e parcialmente exportados alumínio, cobre, silício metálico, chumbo, estanho, zinco, níquel e magnésio, entre outros metais.

Todo esse universo de produtos e atividades relacionadas com a obtenção de metais ferrosos e não ferrosos e sua disponibilização em apresentações e especificações adequadas para a indústria de manufatura é coberto pela Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, ABM. Essa associação, fundada em 1944, congrega pessoas físicas e jurídicas visando à capacitação e ao treinamento de pessoal, à evolução técnico-científica e à inovação em processos, produtos e gestão nas suas áreas de atuação, promovendo ao longo do ano diversos cursos, reuniões e congressos, disponibilizando um amplo acervo técnico e editando publicações técnicas.

Dedicadas a temas específicos, a ABM possui 15 Comissões Técnicas, uma das quais cobre Energia e Utilidades, com reuniões periódicas e sessões especiais no Congresso Anual da ABM, quando são apresentados de forma regular e sistematizada balanços energéticos das empresas associadas. Com certeza, o volume e o nível de detalhamento de informações sobre consumo energético, especialmente em siderúrgicas, vão muito além do que se apresenta atualmente no BEN. Baseando-se essencialmente nessa qualificada base de informações, há alguns anos a EPE editou um Estudo Setorial apresentando o processo siderúrgico e suas variantes no país (por exemplo, uma singularidade brasileira é o uso de carvão vegetal na produção de aços especiais), o estado da arte e as melhores práticas internacionais, uma sistematização dos consumos específicos para os processos unitários, em diferentes rotas tecnológicas, e uma visão das perspectivas tecnológicas na siderurgia (MME, 2009).

As oportunidades para melhorar a eficiência energética em processos metalúrgicos são bem difundidas, por conta de sua relevância energética, estando disponíveis estudos detalhados com os valores mínimos de consumo energético em diversas rotas tecnológicas (Worrel et al, 2008).

Na Figura 20, se mostram medidas que podem ser aplicadas em siderúrgicas para melhorar seu desempenho energético (IIP, 2018), devendo a participação da energia elétrica nos processos ser considerada na comparação dos consumos específicos, como indicado na Figura 21 (Lapillone, 2010).



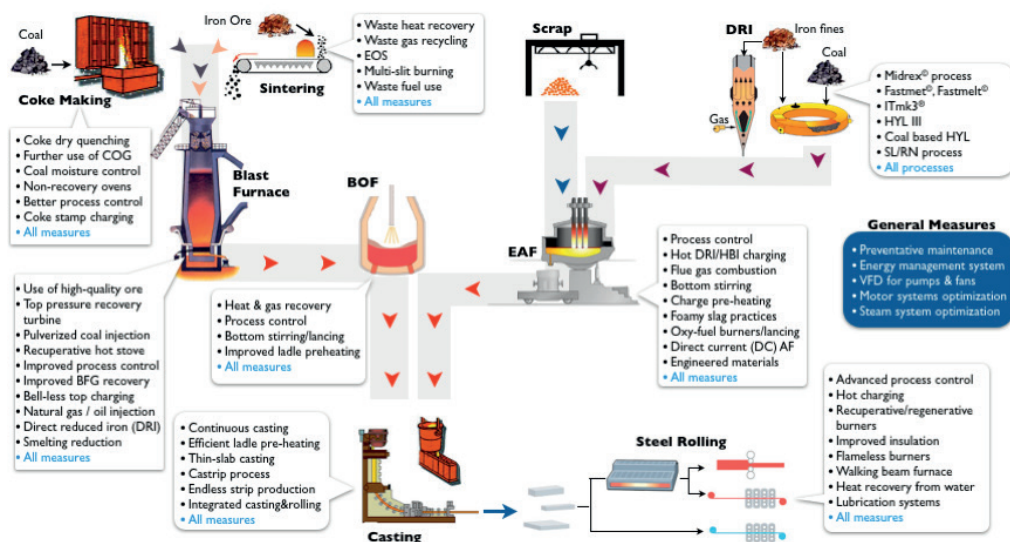


Figura 20. Medidas de fomento à eficiência energética em siderúrgicas (IIP, 2018)

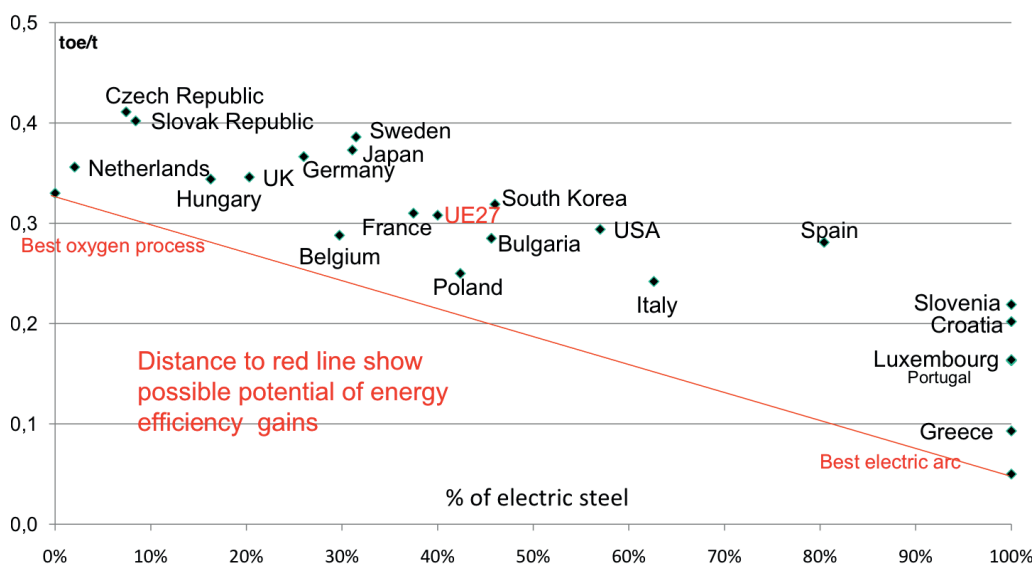


Figura 21. Consumo específico de energia na produção de aço em função da participação dos fornos elétricos (Lapillonne, 2010)

## D. Papel e celulose

Por conta de sua dotação natural, com terras adequadas disponíveis e bom clima, e esforços no desenvolvimento tecnológico na silvicultura e indústria, o Brasil é atualmente um dos principais produtores globais de celulose e papel, com plantas eficientes e competitivas.

A madeira produzida em florestas cultivadas (no Brasil sendo 72% em eucaliptos e 21% em pinus) é a matéria prima mais utilizada para produzir celulose, um produto intermediário que pode ser comercializado ou sucessivamente utilizado para produção de papel de diferentes tipos e finalidades. Desse modo, as unidades industriais podem ser de três tipos: plantas produtoras de celulose (geralmente de alta capacidade, superior a 1,5 milhão de toneladas por ano), plantas integradas para produção de celulose e papel e fábricas de papel, geralmente empresas de médio porte.

Os números da indústria brasileira de papel e celulose são expressivos: em 2017 foram produzidas 14.492 mil toneladas de celulose (68% exportado) e 10.477 mil toneladas de papel (20% exportado), mantendo o ritmo de atividade das 230 unidades produtoras, que geram mais de 128 mil empregos diretos. O valor econômico agregado por essa indústria em 2016 alcançou USD 11,9 bilhões, com a balança comercial apresentando um resultado positivo de USD 6,6 bilhões. (IBA, 2018 e ABTCP, 2018).

A área florestal preservada pelas empresas que atuam neste segmento industrial é de 2,9 milhões de hectares. Para fins industriais, mediante florestas próprias ou de terceiros, são cultivados mais 2,2 milhões de hectares, em sua maior parte florestas certificadas. Por sua evidente relação com a produção florestal, a questão ambiental é relevante e temas como biodiversidade, recursos hídricos, mudanças climáticas, conservação do solo e restauração de terras degradadas têm sido destacados na gestão das empresas.

Nesse contexto, a energia e seu uso eficiente são temas valorizados. Como um todo, a produção de papel e celulose responde respectivamente por 9% e 7% do consumo total de eletricidade do setor industrial brasileiro, mas a disponibilidade e a gestão adequada de resíduos de biomassa e subprodutos de valor energético, como o licor negro, permitiram que as unidades produtoras de celulose implementassem sistemas eficientes de cogeração, assegurando o autoprodução de mais de 65% da energia elétrica consumida e reduzindo os custos com aquisição de energia (eletricidade e combustível suplementar) para níveis entre 6 a 7% dos custos operacionais (DEPEC, 2018).

Dedicada principalmente às questões técnicas e ambientais dessa indústria, a Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, ABTCP, fundada em 1967, tem forte presença no setor, reunindo empresas e profissionais, promovendo congressos e eventos, programas de capacitação e treinamento, editando publicações e desenvolvendo parcerias com universidades e institutos de pesquisa.

Em sua estrutura a ABTCP dispõe de Comissões Técnicas, como a Comissão de Recuperação e Energia, que atua em temas relacionados com eficiência energética, desempenho, meio ambiente e segurança, promovendo estudos e intercâmbio de experiências. Na revista mensal da ABTCP – O Papel – frequentemente são publicados artigos diretamente relacionados com produção e uso de energia, no âmbito do processo industrial ou desde perspectivas mais amplas.

Uma ação importante da ABTCP em eficiência energética, articulada com a Confederação Nacional da Indústria, CNI, o Procel/Eletrobras e o MME, foi a elaboração e edição do Guia Técnico Eficiência Energética na Indústria de Papel e Celulose (ABTCP, 2011), partindo de um consistente embasamento conceitual e de uma revisão do quadro internacional para desenvolver um diagnóstico do contexto brasileiro, e indicar mecanismos de suporte e tecnologias e processos inovadores (incluindo os respectivos potenciais técnicos de economia) e recomendar ações de governo e das empresas.

O guia menciona um estudo realizado pela Unicamp que aponta para o setor de celulose e papel um potencial para reduzir em 19% o consumo de energia térmica e em 12% o consumo de energia elétrica, com investimentos da ordem de 0,31% dos investimentos anuais do setor. Nesse guia se reitera a necessidade de promover sistemas de informação e acompanhamento do consumo energético nas indústrias e no subsetor como um todo.

A seguir se apresentam comparações de consumos específicos de energia na produção de papel e celulose. Na Figura 22 se indicam os valores de EEI (definidos anteriormente na Equação 1; valores mais elevados indicam maiores potenciais de economia) para os processos demandando apenas calor e energia total (calor e eletricidade) frente à produção em diferentes países e regiões. Na Figura 23, para 17 unidades produtoras na Índia, os consumos específicos observados e possíveis (“Target SEC”) foram ordenados por seu potencial de economia, indicando os maiores potenciais para as unidades menos eficientes, como esperado. Curvas similares poderiam ser obtidas para a indústria de papel e celulose no Brasil.

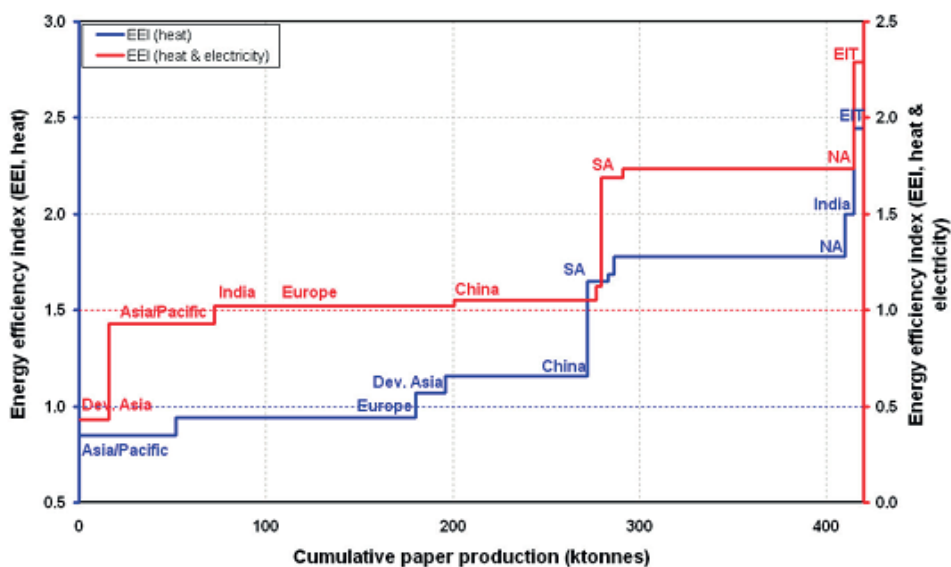


Figura 22. Curvas de oferta (potencial de economia de energia térmica e elétrica em função do volume de produção), em diferentes regiões/países (Lapillonne, 2010)

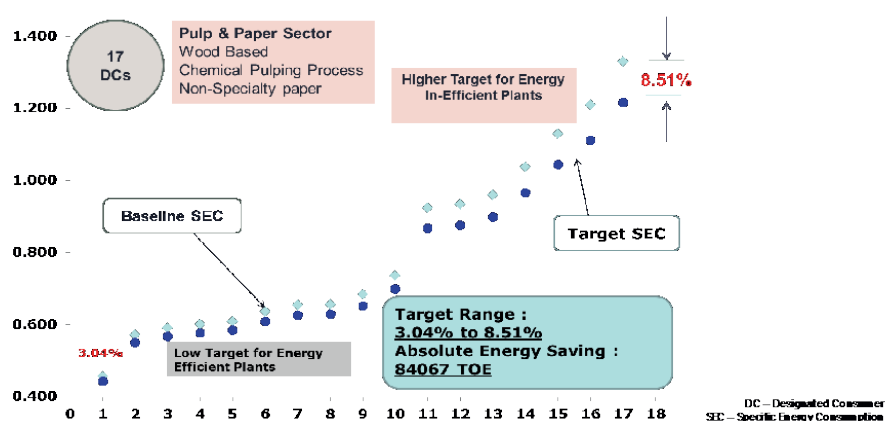


Figura 23. Consumo específico de energia observado e potencial em unidades produtoras de papel e celulose na Índia (SEC: Specific Energy Consumption) (IEA, 2018)

## E. Químico

Este subsetor, o maior consumidor de combustíveis e eletricidade do setor industrial no Brasil, é bastante diversificado, cobrindo implicitamente a indústria petroquímica e, diversas outras, como a fabricação de produtos químicos industriais, produtos farmacêuticos, fertilizantes e agroquímicos, produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, sabões e detergentes, tintas, esmaltes e vernizes, fibras artificiais e sintéticas, enfim, um universo de produtos essenciais na vida moderna.

A indústria química brasileira é a oitava maior do mundo, apresentando em 2016, um faturamento líquido estimado de USD 113,5 bilhões e contribuindo com 10,8% do PIB industrial brasileiro. Segundo o Guia da Indústria Química Brasileira, considerando apenas os produtos químicos de uso industrial, responsáveis por aproximadamente a metade do valor agregado por essa indústria, estão cadastradas 961 fábricas no Brasil (ABIQUIM, 2018).

Congregando as indústrias e empresas vinculadas desse amplo subsetor industrial, a ABIQUIM foi fundada em 1964 e tem atuado em várias frentes, efetuando o acompanhamento estatístico do setor, promovendo estudos sobre as atividades e produtos, acompanhando a legislação e assessorando as empresas associadas em temas econômicos, técnicos e de comércio exterior, além de promover cursos, eventos e manter fluente articulação com universidades e institutos de pesquisa.

Na estrutura da ABIQUIM constam comissões, comitês e grupos de trabalho, com agendas em temas específicos, podendo ser mencionados a Comissão de Meio Ambiente e o Comitê para o Desenvolvimento Sustentável, como os mais relacionados com energia e eficiência energética.

Além disso, trazendo ao Brasil a experiência bem-sucedida com o Responsible Care Program, criado no Canadá em 1984 e atualmente adotado em 60 países, a ABIQUIM desenvolve o programa Atuação Responsável, possivelmente sua iniciativa mais relevante com implicações em eficiência energética.

Esse programa, alinhado com normas internacionais como ISO 14001 e OHSAS 18001, foi lançado em 1992 para promover e demonstrar “o comprometimento com a melhoria contínua do desempenho da indústria química” em um amplo sentido, além do estritamente econômico-financeiro.

Ao longo de 25 anos esse programa se consolidou , com a adesão voluntária da maioria das empresas importantes e o monitoramento regular de Indicadores de Desempenho, por unidade industrial, confirmando que a sustentabilidade é um valor relevante para a indústria química brasileira. Os indicadores desse programa visam “possibilitar a avaliação da performance da empresa frente aos temas de saúde, segurança e meio ambiente, propiciando uma ferramenta importante para a gestão e reporte às partes interessadas. Os indicadores possibilitam verificar se os objetivos traçados estão sendo atingidos e se as metas serão alcançadas auxiliando na consolidação de prática e procedimento ou possibilitando os ajustes necessários”. (ABIQUIM, 2017). No Congresso de Atuação Responsável, promovido bianualmente e reunindo cerca de 500 profissionais, os Indicadores de Desempenho são analisados e os resultados avaliados.

Na Tabela 6 se apresentam os dados coletados pelas empresas no âmbito do Programa Atuação Responsável e utilizados para o cálculo de indicadores que apresentam interesse para o acompanhamento da eficiência energética dos respectivos processos industriais. Importante observar que esse programa prevê auditorias, com procedimentos padronizados de coleta e apresentação, disponibilizando diversos manuais e documentos de referência.

*Tabela 6. Indicadores de Desempenho acompanhados no Programa Atuação Responsável de interesse para a eficiência energética (ABIQUIM, 2017)*

Dado coletado	Unidade	Descrição/Comentário
D27. Produtos produzidos na instalação industrial.	(t/ano)	Produtos que são produzidos na instalação industrial incluindo os produtos intermediários e finais.  Esse dado é utilizado pela ABIQUIM como base para o cálculo dos indicadores ambientais (IMA).
D34 - Dado: Energia elétrica, comprada anualmente da distribuidora .	(kWh)	Indicador calculado pela ABIQUIM: IMA7: Consumo de energia elétrica comprada por quantidade de produto produzido (kWh/t produto).
D35 - Dado: Energia elétrica gerada internamente pela empresa, que é consumida na unidade industrial.	(kWh)	Indicador calculado pela ABIQUIM: IMA8: Porcentagem de energia elétrica gerada internamente que é consumida na unidade industrial.
D36 - Dado: Energia elétrica gerada internamente e vendida à terceiros.	(kWh)	Indicador calculado pela ABIQUIM: IMA9: Porcentagem de energia elétrica gerada internamente que é vendida a terceiros.

Em seu Manual de Indicadores de Desempenho, a ABIQUIM indica os princípios gerais de mensuração dos dados energéticos (ABIQUIM, 2017):

1. As gerações de energia de processos devido às reações exotérmicas (como por exemplo, plantas de ácido sulfúrico) e que são reaproveitadas, não deverão ser contabilizadas de forma direta. Esta energia gerada estará implicitamente considerada na menor demanda de energia do processo, bem como, na venda de energia na forma de vapor e eletricidade.

2. Organizações que transferem energia devem subtrair essas transferências do seu consumo (o consumo diz respeito somente ao que é utilizado para a produção dos produtos da organização relatora).

3. Não é considerada a energia dos gases enviados a flares.

4. No caso da energia térmica importada de outra organização, deve ser relatado o perfil da matriz energética da geradora.

5. A energia elétrica e os vapores gerados e consumidos internamente não entram no indicador, porque já são considerados os combustíveis gastos no início do processo.

6. O consumo de gás natural utilizado como combustível (uso energético) deve considerar para este escopo, todos os equipamentos/tecnologias que realizam a queima do combustível, como fornos de processo, caldeiras, aquecedores térmicos, etc.

Não foram observados dados a serem coletados relacionados com o consumo de combustíveis, entretanto o Programa Atuação Responsável considera o cômputo detalhado das emissões atmosféricas oriundas de combustão e armazenamento, apresentando as normas e procedimentos de cálculo, que naturalmente necessitam de dados de consumo de combustível na unidade industrial. Em resumo, esse programa coleta e processa dados muito interessantes para o acompanhamento de indicadores de eficiência energética na indústria química brasileira, apresentando os valores referidos à produção física, ou seja, como consumos específicos.

Como já observado, as energias térmica e elétrica são insumos essenciais nos processos da indústria química e consumidos em níveis elevados. Entretanto, por diferentes motivos, a eficiência energética não foi ainda priorizada em muitas unidades, existindo um bom espaço para aperfeiçoamento, seja pela evolução das tecnologias nos processos industriais, seja pelo desenvolvimento de novos sistemas de instrumentação e controle, seja ainda por condicionantes econômicos, associados às variações de preços relativos dos insumos, entre eles a energia.

Assim, medidas associadas ao controle de processo, com redução de perdas e reciclagem, integração de processos, implantação de sistemas de cogeração, entre outras, permitem reduzir significativamente a diferença entre os consumos específicos observados e o respectivo BPT, como vem sendo demonstrado em diversos trabalhos.

Uma extensa compilação de estudos sobre consumos específicos de energia para 66 produtos químicos importantes, responsáveis por 70% do consumo de energia da indústria química global, indica que, sem considerar a eletricidade, poderiam ser economizados 16% do consumo de combustíveis nesses processos (IEA, 2011).

### 4.3. OBSERVAÇÕES GERAIS E CONCLUSÕES PARCIAIS

Os cinco subsetores analisados no tópico anterior representam uma parcela importante do consumo energético da indústria brasileira: 59% da energia total, 66% da energia elétrica e 57% do gás natural utilizados nesse setor. Embora esses subsetores tenham sido selecionados previamente considerando a existência de uma atitude proativa com relação à eficiência energética e a presença de uma associação representativa, atuante em temas energéticos, ambos os requisitos confirmados por ocasião das visitas, o levantamento de informações e as entrevistas efetuadas permitiram constatar nuances interessantes, que orientam a possível priorização das ações visando reforçar a base de dados e informações sobre consumos específicos de energia e eficiência energética nas indústrias, como apresentado na Tabela 7.

*Tabela 7. Síntese da visão dos subsetores e potencial para proporcionar dados sobre consumos específicos de energia em processos industriais*

Subsetor/Entidade	Aspectos a ponderar	Aspectos positivos
Alimentos e bebidas ABIA	Porte das empresas e perfil de produção muito diversificado, sem estatísticas regulares do consumo energético por segmento.	Está começando a atuar em eficiência energética.
Cimento ABCP		Homogêneo, com sistemas regulares de acompanhamento dos consumos específicos de energia elétrica e combustíveis.
Metalúrgico ABM	Perfil de produção diversificado.	Possui uma prática de acompanhamento de consumos específicos de energia, com dados das empresas abertos em congressos técnicos.
Papel e celulose ABTCP		Homogêneo, com cultura na valorização da eficiência energética e transparência de dados entre as empresas.
Químico ABIQUM	Perfil de produção diversificado.	Possui um sistema implementado para acompanhamento de consumos específicos de energia.

Na Tabela 8 se resume a posição dos subsetores frente às questões formuladas previamente para orientar as entrevistas com representantes das associações visitadas. Nessas oportunidades, em diferentes níveis de profundidade, ficou patente em todas as associações que uma das motivações importantes para promover a eficiência energética e, neste marco, melhorar as bases de dados de consumo de energia, é a preocupação com a sustentabilidade ambiental e suas consequências para a imagem do subsetor.

Não se constatou de forma clara uma preocupação com custos e segurança no suprimento energético, como motivação para promover a eficiência energética, embora possivelmente essa posição esteja mais evidente junto às empresas. Em nenhuma das associações visitadas se soube de programas próprios, explicitamente dedicados ao fomento da eficiência energética, que, contudo, é promovida, em diferentes níveis, pelas próprias empresas.

*Tabela 8. Síntese da posição dos subsetores com relação ao questionário apresentado*

<b>Subsetor</b>	<b>Ações em eficiência energética</b>	<b>Disponibilidade de dados de consumo específico de energia</b>	<b>Consistência dos dados sobre consumo industrial do BEN</b>	<b>Visão sobre uma base de dados sobre consumo de energia na indústria</b>
Alimentos e bebidas	Sem informação	Não há	Sem opinião	Constitui um bom desafio
Cimento	Ao nível das empresas	Sim, regular	Boa	Interessante
Metalúrgico	Ao nível das empresas	Sim, regular	Razoável	Interessante
Papel e celulose	Ao nível das empresas	Sim	Boa	Favorável
Químico	Ao nível das empresas	Sim, regular e sistemática	Boa	Favorável

Um aspecto comum e relevante, observado nas visitas e posteriormente confirmado pelos dados estatísticos, é o quadro de dificuldades econômicas do setor industrial no Brasil, que nos últimos anos tem enfrentado retração de demanda, elevação de custos e perda de competitividade. Com a possível exceção da indústria de papel e celulose, que conseguiu ampliar suas exportações e preservar sua rentabilidade, nos demais subsetores se observa a travessia de um período difícil, com alta ociosidade e redução dos investimentos. Naturalmente que a eficiência energética é uma das formas de ampliar a economicidade dos processos, mas as reduzidas disponibilidades de caixa têm sido limitadoras. Espera-se que o ambiente econômico se desanuvie e permita a necessária retomada de níveis históricos de atividade da indústria no Brasil, com melhores oportunidades para promover o uso racional de energia.

Preliminarmente e tendo em vista os aspectos apresentados nos parágrafos e tabelas anteriores, poderia ser sugerida a seguinte ordem de prioridade entre os subsetores estudados, para articular medidas junto às associações setoriais visando para reforçar a base de dados do consumo de energia na indústria: 1) Indústrias química e de cimento, e 2) Indústrias metalúrgica e de papel e celulose. Naturalmente que os resultados obtidos com esses subsetores poderão subsidiar medidas similares a serem implementadas progressivamente em toda a indústria, envolvendo subsetores relativamente heterogêneos, mas com bom potencial para a adoção de medidas de eficiência energética, como Alimentos e bebidas, Cerâmica e Têxtil.



---

## 5. INFORMAÇÕES E DADOS SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR INDUSTRIAL NO BRASIL

Conforme apresentado no capítulo anterior, o Balanço Energético Nacional aporta anualmente um bom conjunto de informações sobre o setor industrial, apresentando para os subsetores mais importantes, do ponto de vista econômico e/ou energético, os consumos dos diversos energéticos, compilados pela EPE junto aos respectivos subsetores, especialmente por intermédio das diversas associações<sup>5</sup>. Em sua seção de Energia e Socioeconomia, o BEN também apresenta, para subsetores selecionados, dados de valor econômico agregado, em moeda constante, e dados de produção física, que permitem calcular valores médios anuais da intensidade energética e consumos específicos, como apresentado nesse relatório.

Os procedimentos adotados para a coleta e processamento das informações energéticas no setor industrial vêm sendo aperfeiçoados ao longo dos anos, com o MME e a EPE buscando assegurar a consistência e representatividade desses consumos, mediante avaliações indiretas e comparações com outros indicadores. Em alguns aspectos os sistemas energéticos industriais exigem tratamento metodológico mais específico, como a utilização de combustíveis de apropriação direta (bagaço na agroindústria sucroalcooleira, licor negro e resíduos de silvicultura na indústria de papel e celulose, por exemplo), e a autoprodução e cogeração, crescentemente empregadas em alguns setores, temas que foram objeto de notas técnicas da EPE. De um modo geral, os valores apresentados pelo BEN são endossados pelos segmentos industriais representados.

Os dados disponíveis, em valores médios de consumo de energia primária ou secundária permitem análises agregadas interessantes para o setor industrial, como por exemplo, a avaliação do impacto das alterações do efeito estrutura da indústria brasileira sobre a intensidade energética desse setor. Como pode ser observada na Figura 24, a intensidade energética em 2010 poderia ser ainda maior do que a observada, caso se mantivesse a estrutura da indústria, entretanto a menor participação relativa dos segmentos energointensivos promoveu uma redução nessa intensidade, que poderia erroneamente ser interpretada como devida a ganhos em eficiência energética. Não obstante, estudos mais densos, relevantes para promover e acompanhar programas e medidas de fomento à eficiência energética necessitam de informações suficientemente detalhadas, em dois sentidos: dados de consumo de energia útil e dados estatísticos sobre a composição dos consumos médios observados.

<sup>5</sup> A EPE relaciona as seguintes instituições da indústria como fontes de dados para o BEN: Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA  
Sindicato Nacional da Indústria de Cimento – SNIC  
Associação Brasileira dos Produtores de Ferro-Ligas – ABRAFE  
Instituto Aço Brasil – IBS  
Associação Brasileira de Fundição – ABIFA  
Sindicato Nacional da Indústria e Extração de Estanho – SNIEE  
Associação Brasileira de Alumínio – ABAL  
Sindicato da Indústria de Ferro no Estado de Minas Gerais – SINDIFER

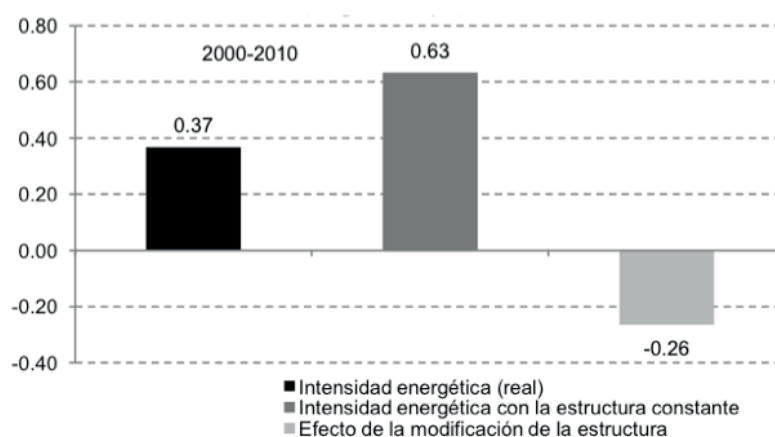


Figura 24. Efeito da estrutura industrial sobre o incremento médio anual da intensidade energética da indústria no Brasil, 2000 a 2010 (CEPAL, 2015)

Na direção do Balanço de Energia Útil, que fornece a parcela da energia final consumida pelas indústrias efetivamente convertida em efeitos úteis, como calor de processo, iluminação e força motriz, se impõe conhecer como se distribuem os consumos energéticos entre os usos finais e qual a eficiência dos equipamentos e processos industriais, impondo que estudos periódicos devem ser conduzidos, com avaliações e medições junto às empresas. Nessa direção, a EPE com o apoio do Banco Mundial está concluindo o Projeto META-MME-EPETR-17, Análise da Eficiência Energética em Segmentos Industriais Seleccionados (cadeia do alumínio (bauxita, alumina e alumínio); celulose e papel; cadeia siderúrgica; cerâmica; alimentos e bebidas; e química (petroquímica, gás-química, álcoolquímica, fertilizantes e soda-cloro), que poderá fornecer dados interessantes sobre o perfil de uso da energia nessas indústrias, indicando as tecnologias que podem ser promovidas e os potenciais associados de economia de energia. Estudos similares devem periodicamente ser realizados e divulgados.

Com relação ao detalhamento dos valores de consumo de vetores energéticos (eletricidade e combustíveis) pelas indústrias, à luz do exposto nos capítulos anteriores, é preciso conhecer os dados de consumo de energia e produção física ao nível das unidades industriais, que poderão ser agrupadas em conjuntos homogêneos e fornecer os valores de consumo específicos relevantes, como BAT, BPT e ASEC (apresentados no Cap. 2) e os parâmetros estatísticos de dispersão, como desvios padrão, médias e medianas desses consumos. Tais valores/ indicadores constituem refinamentos necessários para desenhar, implementar e acompanhar programas de eficiência energética em indústrias de forma efetiva e consistente, como demonstra a experiência em outros países. Felizmente, como se apresentou no capítulo anterior, alguns subsetores industriais no Brasil já dispõem dessas informações e dados, cuja maior difusão deve ser objeto de cuidadosa articulação e entendimento entre o governo e a indústria.

Uma forma interessante de apresentar os dados de consumo energético na indústria é mediante a pirâmide mostrada na Figura 25, na qual a extensão das faixas é proporcional à quantidade de dados e informações, que está por sua vez naturalmente relacionada com um maior esforço para medições e avaliações em contextos reais (UNEP, 2016). O Brasil vem dispondo há décadas de dados regulares nas duas faixas superiores dessa pirâmide, mas precisa e tem condições de alargar sua base de informações sobre uso de energia nas indústrias, progressivamente ampliando o conhecimento sobre o uso de energia nas indústrias.

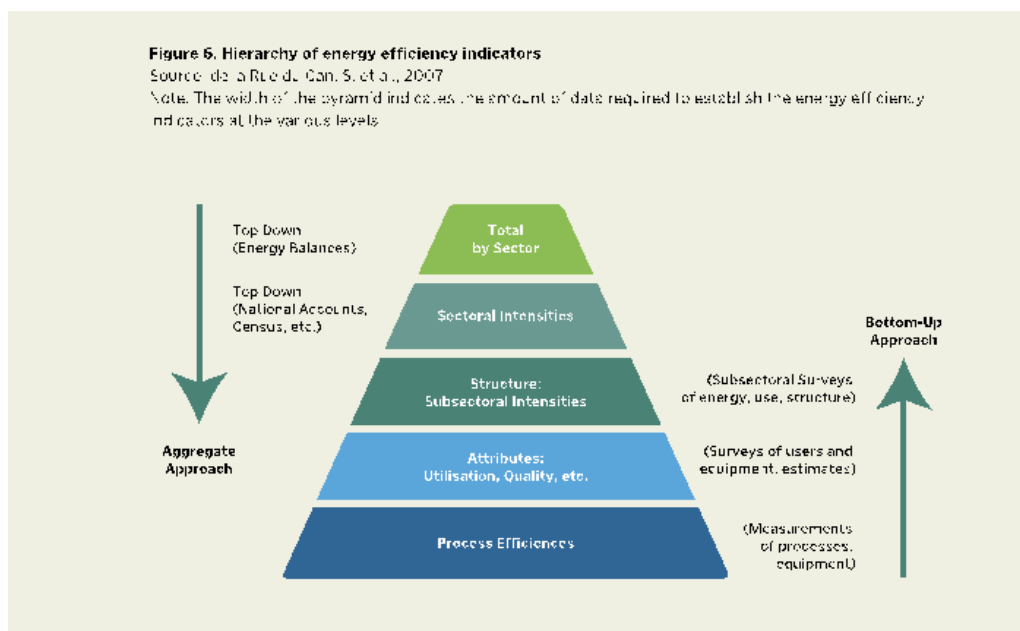


Figura 25. Tipos de dados sobre consumo de energia na indústria (UNEP, 2016)

## 5.1. PROPOSTA DE QUADRO DE INDICADORES DE USO DE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO

Sintetizando esse capítulo, a tabela a seguir apresenta os indicadores já disponíveis e por desenvolver, associados ao consumo de energia no setor industrial e subsetores relevantes no Brasil, sugerindo como podem ser obtidos, tipicamente pela EPE e sob o acompanhamento do MME, e na extensão possível, de forma integrada com subsetores industriais, especialmente para os consumos específicos extremos (consumos específicos: máximo e mínimo) e sua distribuição estatística. Como pode ser observada, a atual existência de um sistema de coleta, análise e inserção dos dados, em valores médios anuais, do consumo de energia (desagregado nas diferentes formas finais de uso de vetores energéticos) na indústria, como desenvolvido pela EPE proporciona uma plataforma inicial importante para a expansão e aperfeiçoamento de uma base de informações como se pretende.

*Tabela 9. Síntese da posição dos subsetores com relação ao questionário apresentado*

Indicador	Situação	Responsabilidade atual e prospectiva
Intensidades energéticas médias.	Disponível no BEN, anual.	EPE, a partir de informações fornecidas pelas associações da indústria e IBGE.
Consumos específicos médios.	Disponível no BEN, anual.	EPE, a partir de informações fornecidas pelas associações da indústria.
Participação da cogeração no consumo.	Disponível no BEN, anual.	EPE, a partir de informações fornecidas pelas associações da indústria.
Consumos específicos extremos e sua distribuição estatística.	Disponível em alguns subsetores industriais, anual.	Possivelmente EPE, endossado pelo MME, em articulação com as associações da indústria.
Consumos específicos de referência (BPT).	Não disponível, avaliado a cada 5 anos.	Possivelmente a ser determinado pela EPE, com base nos indicadores anteriores.
Balanco de energia útil.	Não disponível, avaliado a cada 5 anos.	Possivelmente a ser promovido pelo MME/EPE.

---

## 6. COMENTÁRIOS FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O presente informe resultou de consultas e entrevistas a instituições de governo atuantes no setor energético e entidades empresariais, bem como das reflexões de seus autores, sem a pretensão de exaurir um tema vasto e relevante, como é a base de dados e informações para promover a eficiência energética no setor industrial.

Assim, procurou-se, a bem da simplicidade e viabilidade, considerar a implementação em prazos relativamente curtos de aperfeiçoamentos na plataforma existente de indicadores em eficiência energética nas indústrias, possibilitando a obtenção de resultados em prazos igualmente curtos, embasando avanços progressivos, ampliando assim a cobertura e profundidade dos sistemas de informações sugeridos e suas consequências. Chama a atenção, de forma positiva, a existência em alguns subsetores industriais de dados regulares e qualificados, que podem/devem ser utilizados de forma mais ampla e objetiva.

A partir do reforço das bases de dados de consumo energético em indústrias e existindo condições de efetuar comparações em bases consistentes, o próximo passo poderá ser a definição de metas factíveis para melhoria do desempenho energético dos processos produtivos em unidades industriais, dando início aos ciclos de intervenção e monitoramento/avaliação dos resultados.

Dentro dos limites desse estudo, não se avançou em aspectos complementares de interesse, mas sem premência, como avaliações da permanência dos resultados das medidas de redução das perdas energéticas, do possível impacto da implementação das normas internacionais de gestão ambiental e energética (ISO 14000 e ISO 50001), do efeito “rebound” (associado ao incremento do consumo estimulado pela economia), entre outros tópicos.

Reiterando, se considerou mais relevante conceber um sistema que possa ser implementado de forma breve e progressiva, reforçando a atual base de dados com dados que já existem e são ainda explorados de modo limitado, para o efetivo benefício da indústria e da sociedade. A seguir de apresentam algumas recomendações sobre a implantação dessa proposta.

## 6.1. RECOMENDAÇÕES AOS AGENTES ECONÔMICOS E AOS ÓRGÃOS DE GOVERNO

A proposta de incorporar dados e informações atualmente disponíveis de forma restrita nas indústrias e entidades privadas que representam grupos de atividades industriais, mesmo sendo um procedimento já implementado em outros países, como apresentado, enfrenta certamente restrições que devem ser identificadas e equacionadas corretamente. É muito importante manter um clima positivo e convergente entre as empresas, detentoras dos dados, e o órgão público que deverá acessar tais dados. Nesse sentido, se observa e se recomenda:

1. As associações das indústrias se mostraram organizadas e bem estruturadas, e se constituem parceiras essenciais no processo de abertura dos dados das empresas, que deve ser empreendido de forma cuidadosa, reconhecendo justas preocupações e receios com a divulgação indevida de informações reservadas, seja entre as empresas concorrentes, seja junto aos órgãos públicos, com afã fiscalizador, tributário e assemelhados.

O Estado nem sempre consegue estabelecer relações de mútua confiança com setores privados, por isso, a concepção e a implementação de esquemas de cessão de dados de consumo específico, com diálogo e em um ritmo que assegure os direitos e reduza os riscos, é essencial. Ainda nesse tema, a existência de esquemas de proteção e sigilo de informações reservadas pode ser interessante, com penalização de eventuais infratores.

2. É importante reconhecer que a colaboração, o envolvimento das empresas com programas abertos de acompanhamento de seu próprio desempenho energético em níveis crescentes de detalhamento, impõe a perspectiva de algum benefício ou contrapartida, que pode ser o acesso a informações em prazos menores ou maior detalhamento, o suporte a programas ou ações de eficiência energética, o reconhecimento público de forma relevante (como a concessão anual de um Selo Nacional de Responsabilidade [Ambiental e] Energética), e eventualmente benefícios tributários de índole diversa<sup>6</sup>. Há que se colocar claramente a pergunta: porque uma indústria abriria seus números de consumo energético e de produção física? E ter uma resposta razoável.

3. Alinhados com as sucessivas recomendações de construção de um ambiente construtivo e visando vantagens mútuas, se sugere que sejam efetuados programas piloto, contemplando grupos limitados de empresas, evidenciando os benefícios e esclarecendo sobre os procedimentos, inclusive mostrando que se trata de um modelo de acompanhamento de desempenho energético adotado há anos em diversos países.

<sup>6</sup> Como exemplos a considerar, no Brasil já se adotou uma tabela de alíquotas de IPI para eletrodomésticos (linha branca) em função da categoria de cada modelo na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, e atualmente os automóveis leves serão tributados em função de seu consumo de combustível, frente às metas definidas em consenso com as montadoras.

4. Ainda de forma focalizada em subsetores com suficiente maturidade no monitoramento do consumo e da eficiência energética, podem ser elaboradas e divulgadas, inicialmente apenas junto aos interessados diretos, curvas de consumo específico de energia em função dos volumes de produção (como na Figura 22), ou mesmo ordenadas de forma simples; caso os volumes de produção não estejam disponíveis (como na Figura 23). Em ambos os casos, após a comparação entre as unidades industriais do subsetor considerado, é interessante efetuar comparações com dados similares de outros países e contextos, disponíveis na literatura técnica ou nas entidades internacionais de representação dos diversos segmentos industriais (IEA, 2014b).

5. A divulgação de valores dos consumos energéticos de referência, como BPT, para processos nos quais predominam médias e pequenas empresas, como cerâmicas e alimentos e bebidas, por exemplo, em um Portal de Eficiência Energética na web, pode induzir empresários a aferirem o consumo específico de suas próprias empresas e terem uma ideia de seu posicionamento frente aos mais eficientes e dos eventuais benefícios associados aos ganhos de eficiência.

6. É recomendável que se realizem programas prévios de informação, treinamento e capacitação em sistemas de informações e dados de consumo de energia em indústrias. Nesse contexto cabem também promover encontros e seminários, efetivando o recomendável intercâmbio entre os profissionais envolvidos.

7. Cabe valorizar os sistemas de gestão energética em unidades industriais, inclusive e principalmente no âmbito da norma ISO 50001, que tem incrementado a eficiência energética em vários países. Nesse âmbito, em comparação a outros países, o Brasil tem adotado ainda de forma limitada esses procedimentos e pode ampliar bastante sua utilização.

---

## REFERÊNCIAS

ABIA, 2018. Relatório Anual, Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação, São Paulo.

ABIQUM, 2017. Manual de Indicadores de Desempenho. Programa Atuação Responsável, Associação Brasileira da Indústria Química, São Paulo.

ABIQUM, 2018, O Desempenho da Indústria Química em 2017, Associação Brasileira da Indústria Química, São Paulo.

ABTCP, 2018. O Setor de Papel e Celulose. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, São Paulo.

ACEEE, 2014. The International Energy Efficiency Scorecard. Disponível em: <http://aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/e1402.pdf>, consultado em janeiro de 2018.

ADENE, 2016. Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia, Agência para Energia. Disponível em <http://sgcie.publico.adene.pt.>, consultado em junho de 2016.

BMW, 2014. National Action Plan on Energy Efficiency (NAPE): Making more more out of energy, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/ Federal Minister for Economic Affairs and Energy. Berlin.

Boyd GA, 2017. Comparing the statistical distributions of energy efficiency in manufacturing: meta-analysis of 24 Case studies to develop industry-specific energy performance indicators (EPI), Energy Efficiency, 10.

CEBDS, 2016. Consumo Eficiente de Energia Elétrica: uma agenda para o Brasil, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro.

CEPAL, 2015. Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética del Brasil, por Gorini R, Base de Indicadores de Eficiencia Energética, División de Recursos Naturales e Infraestructura de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.

Cortez CL, Goldemberg J, 2016. Combustíveis Alternativos na Indústria de Cimento, 7º Congresso Brasileiro do Cimento, São Paulo, junho de 2016.

DEA, 2015. Energy Efficiency in Industry: experiences from Denmark. Danish Energy Agency, Danish Ministry of Energy, Utilities and Climate. Copenhagen.



DEPEC, 2018. Papel e Celulose. Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos, BRADESCO Economia em Dia. Disponível em <https://www.economiaemdia.com.br/>, consultado em julho de 2018.

DOE, 2017. Superior Energy Performance, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Department of Energy. Disponível em <https://www.energy.gov/eere/amo/superior-energy-performance>, consultado em junho de 2018.

Drescher S, Rao N, Kozak J, Okos M, 1998. Energy use in the food industry, American Council for an Energy-Efficient Economy. Washington.

EPE, 2013. Energy Efficiency Policy in Brazil: energy efficiency indicators, por Gorini R, Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos, Empresa de Pesquisa Energética, WEC/ADEME Conference, World Energy Council. Paris.

EPE, 2015. Nota técnica DEA 13-15, Série Estudos de Demanda de Energia para o PNE 2050, Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro.

EPE, 2018. Consumo setorial de energia elétrica em 2017, Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro.

Gutowski TG, Sekulic DP, 2011. Thermodynamic Analysis of Resources used in Manufacturing Processes, in Bakshi, BR; Gutowski, TG, Sekulic, DP (editors), 2011. Thermodynamics and the Destruction of Resources, Cambridge University Press. Cambridge.

Henriques Jr M, 2016. Eficiência Energética na Indústria de Cimento, 7º Congresso Brasileiro do Cimento, São Paulo, junho de 2016.

IBA, 2018. Cenários Ibá, Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores, janeiro de 2018. São Paulo.

IEA, 2008. Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency: Key Insights from IEA Indicator Analysis. International Energy Agency. Paris.

IEA, 2011. Chemical and Petrochemical Sector: Potential of best practice technology and other measures for improving energy efficiency, Information Paper, International Energy Agency. Paris (citado por Saygin D, Patel et al., 2011).

IEA, 2012. Policy Pathway – Energy Management Programmes for Industry, International Energy Agency. Paris.

IEA, 2014a. Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency, International Energy Agency. Paris.

IEA, 2014b. Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics, International Energy Agency. Paris.

IEA, 2017a. Energy Efficiency in Industry for Brazil: Energy Management Systems (Part 1), por Vickery L, Ritchie J e Morgado D, Energy Efficiency Webinar for Brazil, International Energy Agency, Paris, November 2017.

IEA, 2017b. Energy Efficiency 2017, International Energy Agency. Paris.

IEA, 2018. Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry, International Energy Agency. Paris.

IEPD, 2018. China Top-10,000 Energy-Consuming Enterprises Program, Industrial Efficiency Policy Database. Disponível em <http://iepd.iipnetwork.org/policy/top-10000-energy-consuming-enterprises-program>, consultado em maio de 2018.

IIP, 2015. Cement, Industrial Efficiency Programs Database. Disponível em <http://ietd.iipnetwork.org/content/cement>, consultado em julho de 2018.

IIP, 2018. Industrial Efficiency Programs Database. Disponível em <http://www.iipnetwork.org/databases/programs>, consultado em junho de 2018.

JRC, 2015. Energy use in the EU food sector: State of play and opportunities for improvement, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport and Institute for Environment and Sustainability. Luxembourg.

Lapillonnerie B, 2010. Indicators for Energy Efficiency Policies, 1st Policy Dialogue on Energy Efficiency in Latin America and the Caribbean, CEPAL, Santiago de Chile, novembro de 2010.

LBNL, 2015. Top 10 Best Available Technologies (BATs) for Industry, Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley.

Li MJ, Tao WQ, 2017. Review of methodologies and policies for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry, Applied Energy, 187.

Liu H, 2013. Ammonia Synthesis Catalysts: Innovation and Practice, Chemical Industry Press, World Scientific, ISBN-13: 978-9814355773, Singapore.

METI, 2015. Top Runner Program: Developing the World's Best Energy-Efficient Appliance and More, Agency of Natural Resources and Energy, Ministry of Economy, Trade and Industry. Tokyo.

MME, 2009. Energia no Setor Siderúrgico, Nota Técnica DEA 02/09, Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia. Brasília.

MME, 2017. Balanço Energético Nacional 2017 (ano base 2016), Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia. Brasília.

MME, 2018a. Resenha Energética 2017, Ministério de Minas e Energia, Brasília.

MME, 2018b. Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos, Ministério de Minas e Energia, Brasília.

Nogueira LAH, 2010. Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe, División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, Santiago de Chile.

ODYSSEE-MURE, 2018. ODYSSEE-MURE, a decision support tool for energy efficiency policy evaluation. Disponível em <http://www.odyssee-mure.eu/project.html>, consultado em junho de 2018.

REN21, 2017. Renewables 2017: Global Status Report. Disponível em <http://www.ren21.net/gsr-2017/>, consultado em junho de 2018.

Saygin D, Worrell E, Patel MK, Gielen DJ, 2011. Benchmarking the energy use of energy-intensive industries in industrialized and in developing countries, *Energy*, 36(11).

Saygin D, Patel MK, Worrell E, Tam C, Gielen DJ, 2011. Potential of best practice technology to improve energy efficiency in the global chemical and petrochemical sector, *Energy*, 36(11).

SNIC, 2018. Relatório Anual, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, Rio de Janeiro.

Sun W, Cai J, Du T, Zhang D, 2010. Specific Energy Consumption Analysis Model and Its Application in Typical Steel Manufacturing Process, *International Journal of Iron and Steel Research*, 17(10).

UN, 2008. International Standard Industrial Classification of All Economic Activities, Department of Economic and Social Affairs, Statistics Division, United Nations. New York.

UNDP, 2016. Best Practices and Case Studies for Industrial Energy Efficiency Improvement: An Introduction for Policy Makers, Copenhagen Centre on Energy Efficiency, United Nations Environment Program, Copenhagen.

UNIDO, 2010. Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking: an Energy Policy Tool, UNIDO Working Paper, United Nations Industrial Development Organization. Vienna.

USDA, 2010. Energy use in the US food system, United States Department of Agriculture, Economic Research Report Number 94. Washington.

Worrell E, Price L, Neelis M, Galitsky C, Nan Z, 2008. World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-62806.

---

## ANEXOS

### 1. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO E QUESTIONÁRIO ORIENTADOR DAS ENTREVISTAS REALIZADAS EM ASSOCIAÇÕES DO SETOR INDUSTRIAL NO BRASIL

**Estudo Procobre/EXCEN para o MME**

**Sistema de Informações com Indicadores para o setor industrial**

#### APRESENTAÇÃO

A energia, em suas várias formas, é essencial para as atividades das indústrias e seu uso racional, mediante tecnologias eficientes e práticas adequadas de operação e manutenção dos sistemas energéticos, reduz despesas e melhora a competitividade das empresas, além de trazer benefícios ambientais e sociais. O MME tem procurado reforçar as medidas governamentais nesse sentido, de forma semelhante ao observado em diversos países, que alcançaram resultados expressivos na redução do consumo de energia sem afetar as atividades normais da indústria e da sociedade.

Para orientar programas de fomento à eficiência energética no contexto industrial, é importante contar com uma base de informações que indique a potencialidade de medidas para induzir à adoção de tecnologias e práticas eficientes, com indicadores de consumo em bases comparáveis, apresentando valores médios, sua dispersão estatística e a situação frente a valores internacionais e os “melhores casos”, assim como indiquem concretamente os possíveis resultados dessas medidas. Tal base de informações tem sido desenvolvida em muitos países, com bons resultados, que oferecem um bom ponto de partida para iniciativa similar na realidade brasileira.

Assim, estamos contatando sua instituição para conhecer seu interesse nesse tema e, de acordo com sua conveniência, combinarmos uma reunião para apresentar esse estudo e algumas questões que vão orientar a modelagem, desenvolvimento e implantação de um Sistema de Informações com Indicadores para o Setor Industrial no Brasil.

Agradecemos sua colaboração, que é relevante e entendemos ser também de seu interesse.

Profs. Jamil Haddad e Luiz A Horta Nogueira  
EXCEN/UNIFEI  
Itajubá, fevereiro de 2018

## QUESTIONÁRIO

- 1. O setor industrial representado por sua associação desenvolveu/desenvolve ou planeja ações voltadas para a eficiência energética? Há alguma coordenação das ações nesse sentido entre as empresas?**
- 2. São disponibilizados regularmente por sua associação dados de consumo de energia e matérias primas, composição da matriz energética e volume de produção, que permitam estimar consumos específicos, por exemplo, em (kWh/ton)? De forma agregada para o setor e por empresa associada? Se não são disponibilizados, poderiam vir a ser?**
- 3. Os dados de consumo de energia e produção (física/econômica) disponibilizados no Balanço Energético Nacional podem ser considerados representativos?**
- 4. Qual sua opinião sobre o desenvolvimento de uma base nacional de informações sobre consumo de energia na indústria, com os consumos de insumos energéticos por setor e indicadores de consumos específicos? Quais as dificuldades que precisamos considerar? E quais vantagens espera eventualmente obter?**
- 5. Poderiam apresentar alguma sugestão ou recomendação para a ação governamental no campo da eficiência energética nas indústrias?**

O EXCEN, Centro de Excelência em Eficiência Energética, localizado no campus da UNIFEI, Universidade Federal de Itajubá, visa promover o uso eficiente da energia, reduzindo as perdas energéticas e construir um futuro mais sustentável. Atua fundamentando a introdução de novas tecnologias energéticas e estimulando a adoção de padrões racionais no consumo de energia.

## 2. ASSOCIAÇÕES INDUSTRIAIS VISITADAS

Subsetor industrial	Associação	Representante contatado	Endereço
Alimentos e bebidas	ABIA Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação	Cleber Z. Sabonaro	Av. Brig. Faria Lima, 1478/11 São Paulo SP <a href="http://www.abia.org.br">www.abia.org.br</a>
Química e petroquímica	ABIQUIM Associação Brasileira da Indústria Química	Fátima G. Coviello Ferreira	Av. Chedid Jafet, 222/40 São Paulo SP <a href="http://www.abiquim.org.br">www.abiquim.org.br</a>
Cimento	ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland	Marcelo Pecchio <a href="mailto:Marcelo.pecchio@abcp.org.br">Marcelo.pecchio@abcp.org.br</a>	Av. Torres de Oliveira, 76. São Paulo SP <a href="http://www.abcp.org.br">www.abcp.org.br</a>
Papel e celulose	ABTCP Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel	Viviane Nunes e Renato Freire <a href="mailto:viviane@abtcp.org.br">viviane@abtcp.org.br</a> <a href="mailto:renato@abtcp.org.br">renato@abtcp.org.br</a>	R. Zequinha de Abreu, 27. São Paulo SP <a href="http://www.abtcp.org.br">www.abtcp.org.br</a>
Siderurgia e metalurgia	ABM Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração	Valdomiro Roman da Silva <a href="mailto:valdomiro@abmbrasil.com.br">valdomiro@abmbrasil.com.br</a>	R. Antônio Comparato, 218 São Paulo SP <a href="http://www.abmbrasil.com.br">www.abmbrasil.com.br</a>
	Instituto Aço Brasil*	Lucila Caselato <a href="mailto:lucila.caselato@acobrasil.org.br">lucila.caselato@acobrasil.org.br</a>	Av. Rio Branco, 108/29 Rio de Janeiro RJ <a href="http://www.acobrasil.org.br">www.acobrasil.org.br</a>

\* Associação contatada, mas não visitada.

Realização: