



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

# **ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**

Ana Carolina Peixoto Deveza

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Rafael Kelman

Co-orientador: Tarcisio Luiz Coelho de Castro

Rio de Janeiro

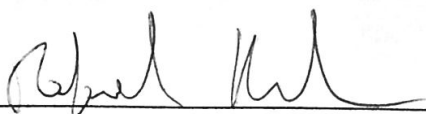
Abril de 2016

# ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Ana Carolina Peixoto Deveza

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL

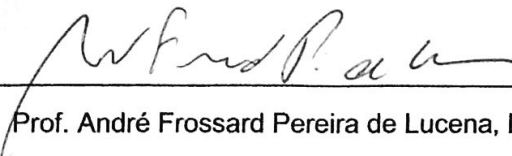
Examinado por:



Eng. Rafael Kelman, D.Sc.,



Prof. Tarcisio Luiz Coelho de Castro



Prof. André Frossard Pereira de Lucena, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Abril de 2016

Deveza, Ana Carolina Peixoto

Análise dos benefícios da eficiência energética para o setor elétrico brasileiro/ Ana Carolina Peixoto Deveza – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2016.

xiii, 74 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Rafael Kelman e Tarcisio Luiz Coelho de Castro

Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Curso de Engenharia Ambiental, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 72-74.

1.Eficiência energética; 2. Setor elétrico; 3.Benefícios econômicos; 4. GEE. Kelman, Rafael *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Análise dos benefícios da eficiência energética para o setor elétrico brasileiro.

*“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez.”*

*Jean Cocteau*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Deus que me criou, que guia cada uma das minhas decisões e que tem me proporcionado incontáveis oportunidades de crescimento nesses cinco anos de graduação.

Agradeço à minha família pelo amor e pelo apoio incondicional. Em especial, aos meus pais, Cléa e Edson, que fizeram da minha educação seu maior investimento e me criaram para ser uma cidadã do mundo.

Agradeço aos meus amigos, que fizeram essa primeira jornada na UFRJ ainda mais especial. Das filosofias de corredor às maratonas na biblioteca. Dos planos para mudar o Brasil aos conselhos de intercâmbio e carreira. Obrigada Banzai, Nanda, Bia, Vitória, Karen, Isabela, Fabi, Edgard, Juliana, Natália, Belle, Patrícia, Luiza, Vanessa e tantos, tantos outros que eu gostaria de citar.

Agradeço aos professores e orientadores que marcaram minha graduação e a quem sou muito grata: Otto, Marcio e Heloisa. E também aos colegas com quem trabalhei no PET Civil, LTC, Ambientável, Comissão de Acessibilidade e demais atividades em que envolvi.

Agradeço aos meus orientadores, Rafael e Tarcisio, e a toda a equipe da PSR, em especial Tainá e Pedro. Agradeço não só pela parceria na realização desse trabalho, mas também pelo salto de aprendizado que vivenciei no último ano e pela oportunidade de conviver com profissionais de tão alto nível.

Agradeço ao professor André Lucena por ter aceitado participar da banca de avaliação.

Por fim, agradeço à sociedade brasileira, por me permitir uma formação gratuita e de qualidade.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

## ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Ana Carolina Peixoto Deveza

Abril/2016

Orientadores: Rafael Kelman

Tarcisio Luiz Coelho de Castro

Curso: Engenharia Ambiental

Através da eficiência energética (EE), um mesmo produto ou serviço pode ser desenvolvido empregando-se menos energia. Assim, é possível induzir o desenvolvimento econômico e o bem-estar social através do uso mais sustentável dos recursos energéticos. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar cenários de eficiência energética elétrica no Brasil e simular os efeitos no Sistema Interligado Nacional (SIN) caso diferentes metas de aumento de EE sejam atingidas no horizonte 2030. O modelo computacional SDDP foi utilizado para simular quatro cenários distintos de expansão da oferta de geração: o referencial, sem acréscimo de eficiência e três alternativos, com aumento da energia conservada em 10%, 15% e 20%. A análise dos benefícios mostra redução da necessidade de nova oferta (entre 12 e 17 GW médios); o que causa redução de custos de expansão (entre 24% e 38%) e operação (entre 42% e 72%); redução das tarifas para consumidores cativos (entre 16% e 25%); e redução das emissões nacionais de GEE (entre 10% e 23%, segundo a abordagem usual, e 10% e 19%, segundo a abordagem de ciclo de vida). Conclui-se que o aumento da EE no Brasil pode trazer expressivos benefícios econômicos e ambientais para o SIN e seus consumidores. Porém, para que tais benefícios se tornem reais, é necessário que o governo aprimore a implementação de seus planos e programas, articulando os diversos agentes econômicos, de modo a superar as barreiras identificadas e possivelmente alcançar metas de conservação mais ambiciosas.

*Palavras chave:* eficiência energética, setor elétrico, benefícios econômicos, GEE.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Environmental Engineer.

ANALISYS OF ENERGY EFFICIENCY BENEFITS FOR THE BRAZILIAN POWER  
SECTOR

Ana Carolina Peixoto Deveza

April/2016

Advisor: Rafael Kelman

Tarcisio Luiz Coelho de Castro

Course: Environmental Engineering

Through energy efficiency (EE), the same product or service can be developed using less energy. Thus, it is possible to induce economic development and social welfare through more sustainable use of energy resources. This study aimed to characterize scenarios of electric energy efficiency in Brazil and simulate the effects in the National Interconnected System (SIN) if different EE increase targets are reached on the 2030 horizon. The SDDP computational model was used to simulate four different scenarios of generation expansion: the reference, without increased efficiency and three alternative ones, with energy conservation increase of 10%, 15% and 20%. The results analysis show benefits, such as: reduction in the need for new supply (between 12 and 17 GW average); which causes a reduction of expansion costs (between 24% and 38%) and operation costs (between 42% and 72%); reduction of tariffs for captive consumers (between 16% and 25%); and reduction of national GHG emissions (between 10% and 23%, according to the usual approach, and 10% and 19%, according to the life cycle approach). It can be concluded that the EE increase in Brazil can bring significant economic and environmental benefits for the SIN and its consumers. However, in order to such benefits become real, it is necessary that the government enhance the implementation of its plans and programmes, coordinating the various economic agents, in order to overcome the identified barriers and possibly achieve more ambitious conservation goals.

*Keywords:* energy efficiency, power sector, economic benefits, GHG.

# CONTEÚDO

1	Introdução.....	1
2	Eficiência no uso de energia.....	4
2.1	Terminologia energética .....	4
2.2	Eficiência energética: uma breve definição .....	7
2.3	Paradoxo de Jevons .....	9
2.4	Modelos de eficiência energética .....	10
2.4.1	Redução da demanda projetada de energia, por meio de metas de conservação .....	10
2.4.2	Hipóteses sobre ganhos nos rendimentos de equipamentos .....	11
2.4.3	Emprego da propriedade termodinâmica exergia.....	11
2.4.4	Construção de curvas de oferta de conservação de energia .....	12
3	Contexto internacional .....	13
3.1	Análise comparativa.....	13
3.2	Experiências selecionadas .....	14
4	Panorama brasileiro.....	18
4.1	Consumo de eletricidade no Brasil.....	18
4.2	Setor elétrico brasileiro .....	20
4.2.1	Arranjo institucional .....	20
4.2.2	Segmentos .....	22
4.2.3	Estrutura tarifária .....	24
4.2.4	Sistema Interligado Nacional (SIN) .....	25
4.3	Legislação e regulamentação .....	26
4.4	Planejamento setorial .....	27
4.4.1	Plano Nacional de Energia (PNE 2030) .....	27
4.4.2	Plano Decenal de Energia 2024 (PDE 2024) .....	27



4.4.3	Plano Nacional de Eficiência energética (PNEf) .....	28
4.5	Programas nacionais .....	28
4.5.1	Programa de Eficiência Energética (PEE) .....	28
4.5.2	Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) .....	32
4.5.3	Programa Brasileiro de Conservação de Energia (Procel) .....	33
4.6	Padrões de eficiência.....	35
4.7	Mercado de ESCOs.....	37
4.8	Competitividade industrial.....	37
4.9	Barreiras à Eficiência Energética .....	40
4.10	Alternativas promissoras.....	42
4.10.1	Motores elétricos mais eficientes .....	42
4.10.2	Iluminação por LED .....	44
4.10.3	Redes de EE .....	45
4.10.4	Tarifa Branca .....	47
5	Modelagem do SIN .....	49
5.1	Metodologia .....	49
5.1.1	Modelo computacional de despacho SDDP .....	49
5.1.2	Cenários de Expansão .....	51
5.2	Projeção de demanda.....	51
5.3	Expansão da oferta de geração .....	54
5.4	Balanco entre oferta e demanda de eletricidade do SIN .....	57
6	Benefícios para o setor elétrico.....	59
6.1	Redução de demanda, nova oferta e potência disponível .....	59
6.2	Redução de custos operativos e de expansão.....	61
6.3	Redução das tarifas de energia .....	64
6.4	Redução de emissões de GEE .....	65

6.4.1	Abordagem usual.....	66
6.4.2	Abordagem de ciclo de vida.....	66
6.4.3	Comparação entre abordagens .....	68
7	Conclusões e recomendações.....	70
	Referências Bibliográficas.....	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-Sistema energético. ....	5
Figura 2.2-Fator de carga <i>versus</i> custos operacionais.....	7
Figura 3.1- <i>Ranking</i> de EE.....	13
Figura 4.1-Mercado elétrico em 2014 (TWh).....	19
Figura 4.2-Consumo de energia elétrica no SIN por classe. ....	19
Figura 4.3-Consumo industrial de energia elétrica por setor (TWh). ....	20
Figura 4.4-Arranjo institucional do setor elétrico brasileiro. ....	21
Figura 4.5-Visão geral do SIN.....	22
Figura 4.6-Subsistemas do SIN. ....	26
Figura 4.7-Participação das tipologias na quantidade de projetos (2008-2015). ....	29
Figura 4.8-Participação das tipologias na alocação de recursos (2008-2015).....	30
Figura 4.9-Média da relação Custo/Benefício por tipologia (2008-2015).....	31
Figura 4.10-Como ler etiquetas do PBE.....	33
Figura 4.11-Áreas de atuação do Procel.....	34
Figura 4.12-Selo Procel. ....	34
Figura 4.13-Equipamentos regulamentados (2002 a 2014).....	35
Figura 4.14-Custo da energia para a indústria em 2015. ....	38
Figura 4.15-Custo médio para a indústria brasileira.....	39
Figura 4.16-Peso dos tributos na tarifa por estado (julho de 2015) ....	39
Figura 4.17-Custo médio para a indústria por região (julho de 2015). ....	40
Figura 4.18-Relação entre padrões.....	43
Figura 4.19 -Tarifa Branca <i>versus</i> Tarifa Convencional.....	48
Figura 5.1-Visão geral da metodologia.....	49
Figura 5.2-Estimativa futura de parâmetros técnicos. ....	52

Figura 5.3-Processo de projeção de demanda.....	53
Figura 5.4-Projeção do Requisito de Energia.....	54
Figura 5.5-Consequência da exigência de 100% de cobertura da demanda.....	55
Figura 5.6-Opções de expansão da geração. ....	56
Figura 5.7-Balanço entre oferta e demanda média anual com energia de reserva.....	57
Figura 5.8-Balanço entre oferta e demanda média anual do SIN. ....	58
Figura 6.1-Projeção de demanda dos cenários.....	59
Figura 6.2-Redução da necessidade anual de nova oferta. ....	60
Figura 6.3-Redução de potência disponível por fonte. ....	61
Figura 6.4-Custo de conservação <i>versus</i> custo de produção por fonte.....	63
Figura 6.5-Custo de conservação <i>versus</i> custo de produção.....	64
Figura 6.6-Ciclo de vida de uma usina geradora. Fonte: MIRANDA (2012).....	67
Figura 6.7-Comparação da redução nas emissões.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1-Energia embutida em alguns produtos.....	4
Tabela 4.1-Grupos segundo tensão de fornecimento.....	24
Tabela 4.2-Investimentos e potencial de conservação.....	31
Tabela 5.1 - Taxas de crescimento populacional. ....	52
Tabela 5.2 - Projeção de crescimento do PIB. ....	53
Tabela 6.1 - Redução nos custos de operação do SIN. ....	62
Tabela 6.2-Custo de instalação de usinas por fonte de geração. ....	62
Tabela 6.3-Redução nos custos de investimento do SIN. ....	63
Tabela 6.4 – Redução tarifária devida à EE.....	65
Tabela 6.5 – Fatores de emissão – abordagem usual.....	66
Tabela 6.6 - Redução nas emissões de CO2 - abordagem usual. ....	66
Tabela 6.7-Fatores de emissão - abordagem de ciclo de vida. ....	68
Tabela 6.8 - Redução nas emissões de CO2 - abordagem de ciclo de vida.....	68

# 1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são limitados. Para desfrutarmos de padrões de vida baseados nos avanços tecnológicos e na busca por maior conforto e comodidade, é necessário que o façamos de forma sustentável, permitindo que as gerações futuras continuem tendo acesso a esses recursos. A eficiência energética (EE), através da qual um mesmo produto ou serviço é desenvolvido empregando-se menos energia, é uma ferramenta capaz de promover a sustentabilidade no uso dos recursos energéticos, diminuindo ou adiando custos relacionados ao parque gerador e emissões de gases de efeito estufa (GEE).

No Brasil, a maior parte da energia elétrica é gerada em grandes usinas hidrelétricas (UHE) com reservatório de acumulação que, por seu relativo baixo custo de geração e suas características técnicas, são amplamente usadas para o fornecimento permanente de energia (SEEG E OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2014).

A capacidade efetiva de geração destas usinas ao longo do ano está sujeita às condicionantes climáticas e meteorológicas, posto que influenciam o regime de chuvas e, portanto, o afluxo de água nos reservatórios das UHEs. A energia armazenada varia conforme o afluxo de água (energia natural afluyente) e o seu uso para geração elétrica (turbinamento) .

Assim, a decisão sobre o uso da energia armazenada nos reservatórios envolve, acima de tudo, a necessidade de segurança energética e operacional do sistema elétrico. Para garantir que haja fornecimento suficiente (e economicamente viável) de eletricidade, é imperativo incorporar a essa decisão um conjunto de considerações. Por um lado, projeções sobre o comportamento dos reservatórios, o que contempla análises climatológicas e meteorológicas; e, por outro, a avaliação dos custos presentes e futuros das diferentes fontes de energia, de forma a ponderar sobre os riscos de aumento significativo do custo da eletricidade.

Concretamente, em situações de forte redução da energia armazenada nos reservatórios, pode ser necessário reduzir a geração de hidreletricidade, lançando mão das fontes complementares, como uma medida para preservar o estoque existente ou permitir que este se recupere para uso no futuro.

Essa situação, acrescida de um forte crescimento da demanda por energia elétrica no país, vem exigindo cada vez mais o acionamento de fontes complementares de geração. A

resposta que vem sendo dada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), entidade responsável pela gestão e operação do Sistema Interligado Nacional (SIN), tem sido o acionamento de usinas termelétricas, principalmente, mas não só, as que utilizam o gás natural (SEEG E OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2014).

Como as usinas termelétricas são movidas a combustível fóssil, o custo de operação dessas usinas é muito mais alto que o das hidrelétricas, devido ao que se paga pela aquisição da “matéria prima”.

O critério de tomada de decisão entre as usinas que entrarão em operação primeiro utiliza basicamente a ordem crescente de Custo Variável Unitário (CVU) e as restrições de risco de déficit. Dessa forma, aumentar a EE implica em diminuir a demanda de eletricidade e assim evitar que as decisões operativas incluam as usinas mais caras (em geral as termelétricas). Reduzir os custos operativos, conseqüentemente, reduz as tarifas pagas pelos consumidores.

No contexto da 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças no Clima, o Brasil assumiu posição de destaque nas negociações climáticas ao ser o único país em desenvolvimento a assumir compromisso de redução absoluta de emissões de GEE. Para 2030, a meta é reduzir essas emissões em 43% em relação aos níveis de 2005 (Portal Brasil, 2015).

Segundo estimativas do Plano Decenal de Energia 2024 (MME, 2014a), o setor elétrico (excluindo-se os sistemas isolados) representou 17% das emissões de GEE brasileiras em 2014. Trata-se de um dos setores prioritários do governo para o alcance da meta de redução de emissões estabelecida. Dentre as ações planejadas, pretende-se aumentar a participação das fontes não fósseis (excluindo a hidroeletricidade) para ao menos 23% da matriz elétrica nacional e aumentar os ganhos de eficiência energética em 10%.

Com relação ao perfil de emissões do setor elétrico brasileiro, ainda que a participação das fontes fósseis na complementação da geração elétrica tenha aumentado nos últimos anos, o setor mantém-se como uma referência mundial em termos de baixa intensidade de emissão de carbono por unidade de energia elétrica gerada (SEEG E OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2014).

Segundo a Agência Internacional da Energia, os investimentos em EE desde 1990 evitaram mais de 870 MtCO<sub>2</sub>eq em 2014, enquanto reduziram os custos de combustível em 550 US\$

bilhões. Por essa razão, a EE pode ser considerada o combustível Nº 1 no contexto da descarbonização (FRAUNHOFER INSTITUTE, 2015).

Ainda que seja evidente a necessidade de investimento e implementação de EE, muitas barreiras ainda são encontradas por empresas, governos e usuários de eletricidade que visam promover o uso eficiente de energia. Essas barreiras podem ser financeiras ou não financeiras como inadequação de linhas de financiamento, aversão ao risco, desinformação e desinteresse, (CNI, 2010) e (FRAUNHOFER INSTITUTE, 2015). Aperfeiçoar a identificação dessas barreiras tem, portanto, papel fundamental para a construção de uma estratégia de superação das mesmas.

O estudo dos benefícios associados à EE e o desenvolvimento de mecanismos que a viabilizem é essencial para que se tenha um futuro energeticamente sustentável. O presente estudo tem como objetivo caracterizar cenários de eficiência energética elétrica no Brasil e simular os efeitos no SIN caso diferentes metas de aumento de EE sejam atingidas no horizonte 2030. O trabalho está estruturado da seguinte forma:

O Capítulo 2 apresenta a terminologia relacionada com o estudo dos sistemas energéticos, bem como os principais conceitos relacionados com a EE.

O Capítulo 3 mostra como o Brasil está inserido no contexto internacional e apresenta experiências de sucesso que podem vir a ser adaptadas para a nossa realidade.

O Capítulo 4 apresenta o panorama do setor elétrico brasileiro, incluindo os planos e programas de governo para promoção de EE, as barreiras que tem afetado os avanços nacionais e alternativas promissoras que podem ser adotadas.

O Capítulo 5 contém a metodologia utilizada para modelar o SIN através do software SDDP, incluindo a caracterização dos cenários de simulação e os balanços de oferta e demanda.

O Capítulo 6 apresenta os principais resultados do estudo: impactos sobre demandas e nova oferta, redução em custos operativos e de expansão do parque gerador, redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e impactos nas tarifas de energia do mercado regulado.

Por fim, o Capítulo 7 apresenta as principais conclusões do estudo e as recomendações para futuros trabalhos.



## 2 EFICIÊNCIA NO USO DE ENERGIA

### 2.1 Terminologia energética

A temática da racionalização dos fluxos energéticos envolve o estudo dos sistemas energéticos, que possuem conceitos, linguagem e parâmetros próprios. Sendo assim, convém apresentar a terminologia energética, ainda que brevemente, a fim de facilitar o entendimento do presente trabalho

Todas as atividades humanas requerem energia, seja na forma de fluxos energéticos como calor e energia elétrica, seja na forma de produtos e serviços, que de forma indireta, também correspondem a fluxos energéticos, sem o que eles não poderiam ser obtidos. Assim, denomina-se energia direta aos fluxos físicos de energia, consumidos como tal, e energia indireta ou embutida às demandas energéticas realizadas para atender aos fluxos de materiais e às demais atividades (VIANA et al., 2012). Dessa forma, é possível entender melhor como a energia é utilizada pela sociedade e evidenciar a crescente demanda de energia indireta, associada a produtos com elevado consumo em sua produção. A Tabela 2.1 permite comparar a energia embutida em alguns materiais de extenso uso. Os valores podem variar de acordo com as matérias primas e tecnologias adotadas.

Tabela 2.1-Energia embutida em alguns produtos.

Material	(kJ/kg)	Observações
Aço	20-50	produto acabado, a partir de minério
Água tratada	0,001-0,01	a partir de reservatórios naturais
Alumínio	227-342	metal a partir da bauxita
Calcário	0,07-0,1	a partir de jazidas naturais
Cimento	5-9	a partir das matérias primas
Madeira serrada	3-7	a partir da árvore em pé
Oxigênio	6-14	a partir do ar
Papel	25-50	a partir da árvore em pé
Polietileno	87-115	a partir de petróleo
Tijolos	2-5	a partir da argila
Vapor de processo	3-4	a partir da água natural, baixa pressão
Vidro	18-35	a partir das matérias primas

Fonte: VIANA et al, (2012)

Muitas vezes a energia não está disponível na forma ideal para ser empregada em determinada atividade. Felizmente, porém, ela pode ser convertida e armazenada. De

forma geral, os fluxos energéticos se baseiam nos processos progressivos de conversão e armazenamento de energia, tornando-a adequada aos seus diversos usos.

Conforme sua posição nessa sequência de processos, podem ser definidos alguns tipos de energia, vide Figura 2.1 (VIANA et al., 2012).

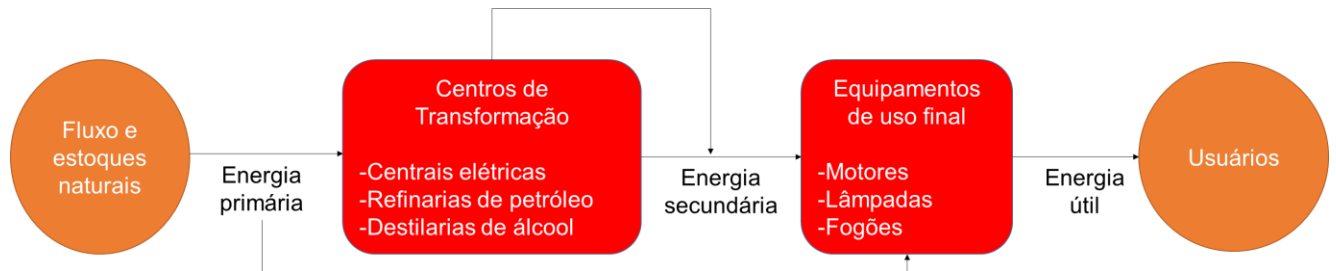


Figura 2.1-Sistema energético.  
Fonte: VIANA et al. (2012)

- **Energia Primária**

É a energia fornecida pela Natureza, como a energia hidráulica, petróleo ou lenha, podendo ser usada diretamente ou convertida em outra forma energética antes do uso.

- **Energia Secundária**

Corresponde à energia resultante de processos de conversão, no âmbito do setor energético, visando aumentar sua densidade energética, facilitar o transporte e armazenamento e adequação ao uso, como a eletricidade, derivados de petróleo, álcool, carvão vegetal etc. Eventualmente a energia secundária pode ser ainda convertida novamente em outras formas de energia secundária, como é o caso do óleo diesel utilizado em centrais elétricas.

- **Energia Útil**

Corresponde à forma energética efetivamente demandada pelo usuário, devendo ser algum fluxo energético simples, como calor de alta ou baixa temperatura, iluminação, potência mecânica etc. A relação entre a energia útil e a demanda correspondente de energia secundária depende da eficiência do equipamento de uso final, como uma lâmpada ou um motor.

Deve-se ainda observar que é prática comum em sistemas elétricos referir-se à **demanda** enquanto potência, avaliada em kW, e ao **consumo** enquanto requerimento energético avaliado em kWh.

No estudo dos sistemas elétricos, são adotados alguns parâmetros que expressam o nível de utilização destes sistemas, como:

- ***Fator de carga***

É a relação entre a potência média consumida e a potência máxima requerida. Geralmente consumidores residenciais e rurais apresentam fatores de carga menores que 10%, enquanto em indústrias de grande porte este fator é alto, podendo superar 90%. São as diferenças de demanda ao longo do tempo (dias, semanas, estações do ano), que indicam as usinas mais indicadas para cada situação de despacho.

- ***Fator de capacidade***

O fator de capacidade relaciona a quantidade de energia média gerada ao longo do ano e a geração máxima possível, considerando que a usina funcionasse durante todo o tempo à potência máxima. Admite-se aqui que as plantas de geração que operem mais de 5.000 horas anuais são centrais de base (fatores de capacidade >57%), enquanto aquelas que gerem por menos de 2.000 horas são consideradas de centrais de ponta (fatores de capacidade <23%). As centrais que se situam neste intervalo são as centrais intermediárias.

- ***Horários de Ponta e Fora de Ponta***

O horário de ponta é o período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, com exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi, e os demais oito feriados (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2012).

O horário fora de ponta é o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta. Estes horários são definidos pela concessionária de acordo com sua capacidade de fornecimento. A definição desses horários é utilizada na implementação das tarifas horo-sazonais.

Para o adequado planejamento e operação dos sistemas energéticos, é necessário entender também o fluxo de caixa que envolve essas atividades. De forma resumida, trata-se dos custos de expansão e custos operativos da infraestrutura energética.

- **Custos de expansão e custos operativos**

Entende-se por custos de expansão os custos de investimento, relacionados com a necessária amortização do capital aplicado no sistema energético. Comumente esses custos são apresentados como custos unitários, dados como US\$/kW de capacidade instalada e dependem fortemente da tecnologia do sistema, com os custos sendo mais elevados para os sistemas de maior eficiência. Já os custos operativos correspondem aos custos incorridos para a geração de uma unidade de energia e incluem a amortização do investimento e os custos de operação e manutenção. É usual ainda, nos sistemas de geração de energia elétrica, separar-se os custos de operação e manutenção, em duas parcelas, uma correspondente ao combustível necessário para a geração e outra, relativa a todos os demais custos, como pessoal, manutenção etc (VIANA et al., 2012).

Para entender melhor esse conceito, agora para um consumidor de energia, é apresentada na Figura 2.2, onde a viabilidade da utilização de sistemas de iluminação mais eficientes e mais caros ocorre para maiores níveis de utilização, sendo equivocado, portanto, adotar sempre a opção de maior desempenho, sem que se considere seus custos e frequência de uso.

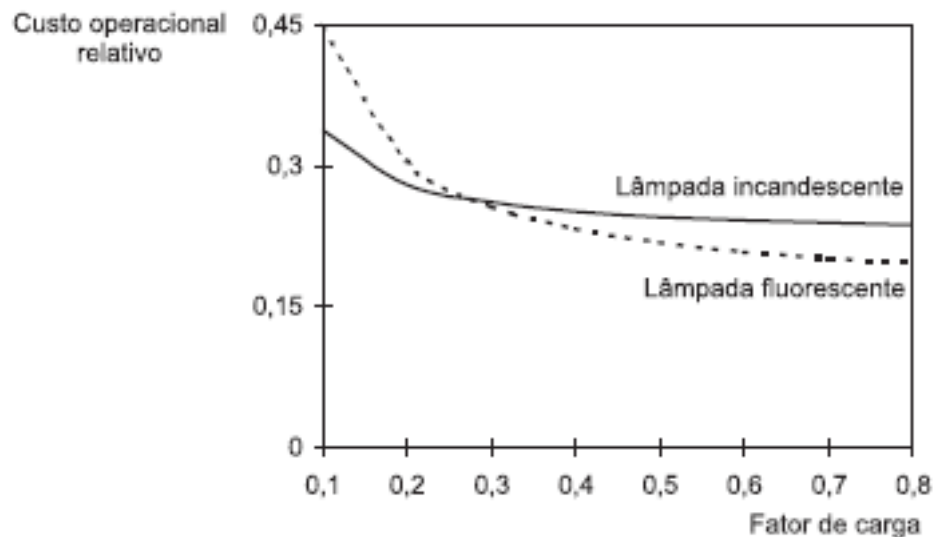


Figura 2.2-Fator de carga versus custos operacionais.  
Fonte: VIANA et al. (2012)

## 2.2 Eficiência energética: uma breve definição

A energia é usada em aparelhos simples (lâmpadas e motores elétricos) ou em sistemas mais complexos que englobam diversos outros equipamentos (geladeira, automóvel ou

uma fábrica). Como conceituado anteriormente, esses equipamentos e sistemas transformam a energia em sua forma primária ou secundária em energia útil, sempre implicando em perda de parte dessa energia para o meio ambiente durante o processo. Por exemplo: uma lâmpada transforma a eletricidade em luz e calor. Como o objetivo da lâmpada é iluminar, uma medida da sua eficiência é obtida dividindo a energia da luz pela energia elétrica usada pela lâmpada. Da mesma forma pode-se avaliar a eficiência de um automóvel dividindo a quantidade de energia que o veículo proporciona com o seu deslocamento pela que estava contida na gasolina originalmente.

O desperdício também é uma fonte de ineficiência. Por exemplo: uma lâmpada acesa em uma sala sem ninguém gera luz que não serve ao seu propósito de iluminação. Também um veículo parado em um engarrafamento está usando mais energia do que a necessária por conta do tempo que fica ligado sem se mover.

Outros fatores mais sutis explicam muitos desperdícios. Por exemplo: um construtor barateia a construção não isolando o *boiler* e os canos de água quente, pois quem pagará pelo desperdício será o consumidor. Vale notar que esses efeitos se multiplicam à medida que a energia vai migrando por todos os setores da economia.

Uma lâmpada incandescente comum tem uma eficiência de 8%, ou seja, 8% da energia elétrica usada é transformada em luz e o restante aquece o meio ambiente. A eficiência de uma lâmpada fluorescente compacta, que produz a mesma iluminação, é da ordem de 32%.

Como o preço da lâmpada eficiente é entre 10 a 20 vezes mais caro do que a comum, a decisão de qual delas comprar dependerá de fatores econômicos que consideram a vida útil de cada uma, taxa de desconto e a economia proporcionada na conta de luz. Os cálculos para tomar a decisão acima não são triviais. Exigem o domínio de ferramentas de matemática financeira desconhecidas pela maioria dos consumidores. A seleção de equipamentos e sistemas mais complexos pode ser mais difícil ainda. Esta é a razão pela qual muitos consumidores usam inadequadamente todas as formas de energia (INEE, 2015a)

Sendo assim, pode-se definir EE como o conjunto de medidas que reduzem a quantidade de energia utilizada para prover produtos e serviços. Segundo esta definição, são medidas de EE aquelas capazes de reduzir a produção, transporte e transformação de energia para atender a mesma demanda por produtos e serviços. Tanto quanto medidas que atuam diretamente sobre o consumo final da energia para serviços como iluminação, condicionamento ambiental e outros.

São exemplos de medidas de EE: o combate às perdas técnicas nas redes de distribuição; a troca de geradores antigos em usinas elétricas por modelos modernos; e a troca de motores ineficientes em indústria. É fácil perceber as diversas implicações da EE se consideramos seus impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais.

As avaliações prospectivas da EE consideraram a existência de dois movimentos: o primeiro, denominado **progresso tendencial**, corresponde ao aumento da eficiência em uma trajetória do tipo *business-as-usual* e inclui a reposição tecnológica pelo término da vida útil de equipamentos e os efeitos de programas e ações de conservação já em execução no país; o segundo, denominado **progresso induzido**, refere-se à instituição de programas e ações adicionais orientados para determinados setores, refletindo políticas públicas; programas e mecanismos ainda não implantados no Brasil (MME, 2014).

Outras expressões serão utilizadas neste trabalho para eficiência energética, a despeito de questionamentos sobre a conveniência ou atualização. Assim, a expressão “energia conservada”, por exemplo, é utilizada como sinônimo de consumo evitado ou reduzido. Embora não se busque a conservação de energia, no sentido físico da expressão, mas sim a redução efetiva do consumo, expressões como “conservação de energia” e “energia conservada” são utilizadas para indicar o processo (conservação) ou resultado da redução no consumo final de energia, tendo em vista sua larga aplicação na literatura.

O potencial da EE é melhor compreendido através da caracterização dos seguintes limites (EPE, 2007):

- **Técnico:** limite de penetração das ações de EE, onde se considera a adoção das tecnologias mais eficientes disponíveis. Não se considera custos ou quaisquer barreiras para a adoção das tecnologias, funcionando como um valor limite para o potencial de conservação e taxa de desconto;
- **Econômico:** considera as ações de EE que tem viabilidade econômica para implementação, considerando custo de medidas de economia, custos marginais de expansão da oferta de energia;
- **Mercado:** considera as ações de EE que levam a redução de custos ao usuário final da energia que estejam a seu alcance. Está fortemente relacionado ao patamar das tarifas de energia.

### 2.3 Paradoxo de Jevons

Cabe observar que a EE não reduz necessariamente o consumo de energia; seu efeito é permitir fazer mais com o mesmo. E esse “mais” pode ser uma atividade que beneficie a

economia (ex. expansão de uma indústria) ou o bem-estar das famílias (lâmpadas mais eficientes podem viabilizar uma casa com mais lâmpadas e melhor iluminada). O aparente paradoxo de que aumentar a eficiência pode incrementar o consumo foi articulado há 130 anos pelo economista britânico William Jevons: “Se a quantidade de carvão usada num alto-forno puder ser reduzida pelo aumento de eficiência, os lucros do comércio aumentarão, novo capital será atraído e o preço do ferro-gusa diminuirá. Sua demanda aumentará e, eventualmente, um maior número de fornos mais do que compensarão a diminuição de consumo individual” (KELMAN, 2015).

O paradoxo de Jevons incomoda as pessoas que veem a redução absoluta do consumo de energia como o objetivo da sociedade. Um artigo recente argumenta que “cada produto que usamos hoje é mais eficiente do que o equivalente da década de 1970. Entretanto, nosso consumo de energia aumentou” (KELMAN, 2015). Ainda assim, mesmo que a EE não reduza o consumo de energia, ela deve ser perseguida por induzir o desenvolvimento econômico e bem-estar social.

## **2.4 Modelos de eficiência energética**

Novos programas de eficiência têm sido levados em conta no planejamento energético principalmente por meio de quatro abordagens, que serão detalhadas nesta seção. Essas abordagens podem ser inseridas de duas formas principais: como uma variável de cenário da demanda e oferta ou como uma variável de decisão de investimento. Vale ressaltar que elas não são mutuamente exclusivas, isto é, duas ou mais dessas abordagens podem ser aplicadas em um mesmo plano (EPE, 2007).

### **2.4.1 Redução da demanda projetada de energia, por meio de metas de conservação**

Esta abordagem usualmente contempla duas possibilidades. Na primeira, que apresenta uma visão determinística, são estabelecidas metas de conservação de energia, com base em programas existentes ou novos, cuja entrada em operação no futuro esteja certa, e as economias de energia associadas a estas metas são descontadas da demanda projetada de energia. Assume-se, neste caso, que as metas dos programas de conservação considerados, vão, de fato, se concretizar no futuro.

A outra possibilidade já envolve uma visão prospectiva e utiliza o conceito de cenários alternativos de desenvolvimento, que pode caracterizar várias possibilidades de programas de EE. Esta abordagem tem sido utilizada nos últimos planos decenais do setor elétrico

brasileiro. A principal limitação dessa abordagem é não considerar explicitamente os custos e, por conseguinte, a competitividade dos programas de EE entre si e frente às alternativas de oferta (EPE, 2007).

#### **2.4.2 Hipóteses sobre ganhos nos rendimentos de equipamentos**

Modelos detalhados de projeção da demanda energética, como o MIPE, o MAED e o LEAP, que têm sido utilizados na elaboração das projeções da Matriz Energética Nacional - MEN, representam estoques de equipamentos e sua utilização. Modelos desse tipo permitem assumir hipóteses sobre a evolução futura dos rendimentos dos equipamentos, seja como consequência da evolução tecnológica motivada por “forças de mercado”, ou como resultado de programas de conservação de energia.

Analogamente, modelos detalhados de otimização da oferta, como o MELP, o MESSAGE e o MARKAL, também representam os principais tipos de equipamentos de conversão envolvidos na oferta de energia, possibilitando se adotar hipóteses sobre a evolução futura de seus rendimentos.

Nesta abordagem, assim como na anterior, também se pode utilizar um enfoque determinista, ou se empregar um ou mais cenários para explorar os impactos de rotas alternativas para a evolução das eficiências dos equipamentos simulados, associados, por exemplo, a diferentes políticas e programas de fomento à EE.

Essa abordagem possui a mesma limitação da anterior com respeito aos custos e, conseqüentemente, à competitividade dos programas, mas apresenta a flexibilidade de representar diferentes tecnologias para diferentes rendimentos (com custos e potenciais distintos) (EPE, 2007).

#### **2.4.3 Emprego da propriedade termodinâmica exergia**

A propriedade termodinâmica exergia representa a capacidade de realização de trabalho. Ela se origina na 2ª Lei da Termodinâmica e propicia uma mensuração da qualidade dos fluxos energéticos.

Balanços de exergia em sistemas energéticos, substituindo os balanços de energia, provêm informações não só sobre as perdas de energia, mas, também, sobre as irreversibilidades associadas aos diversos processos que participam dos sistemas analisados. Estas informações adicionais indicam os processos onde se tem maiores potenciais de ganhos de capacidade de realização de trabalho.



A combinação de análises termodinâmicas baseadas na 2ª Lei, utilizando a propriedade exergia, com análises econômicas originou uma nova abordagem no planejamento de sistemas energéticos, denominada Termoeconomia. Esta abordagem já é bem aceita no dimensionamento e no planejamento da operação de sistemas energéticos complexos. Nesses sistemas coexistem importantes fluxos térmicos em diferentes níveis de pressão e temperatura e oportunidades significativas de recuperação de energia térmica residual. Como exemplos pode-se citar diversos sistemas encontrados na indústria química, siderúrgica, de papel e celulose, além de unidades mais complexas de cogeração de energia mecânica/elétrica e energia térmica. A utilização desta abordagem na modelagem de sistemas elétricos tem sido mais restrita (EPE, 2007).

#### **2.4.4 Construção de curvas de oferta de conservação de energia**

O Planejamento Integrado de Recursos (PIR) passou a ser aplicado no planejamento dos setores elétrico e de gás canalizado a partir de meados da década de 80 em alguns países, entre os quais se destacam os EUA, Canadá e Dinamarca (EPE, 2007).

Neste tipo de planejamento, analisa-se, de uma forma explícita e equitativa, um grande número de opções de suprimento e de ações sobre a demanda. Tenta-se internalizar custos sociais e ambientais associados às diferentes opções. Efetua-se uma avaliação dos riscos e incertezas oriundos de fatores externos ao exercício de planejamento e, também, dos decorrentes das opções analisadas (EPE, 2007)..

A implantação dos conceitos inovadores trazidos pelo PIR motivou o desenvolvimento das “curvas de oferta de conservação de energia”, que representam os custos unitários de diversos novos programas de conservação como funções da energia. Estes programas são ordenados nas curvas em ordem crescente de seus custos (EPE, 2007)..

Comparando-se os custos representados nestas curvas com os preços dos energéticos que os programas de conservação correspondentes irão economizar, podem-se auferir imediatamente os programas que são economicamente viáveis. Estas comparações são feitas por setor consumidor, ao longo do horizonte de planejamento. Como, os preços dos energéticos tendem a subir mais do que os custos de muitos dos programas de conservação de energia, programas que não são economicamente atraentes em um dado momento, podem vir a sê-lo em um momento futuro, ainda no horizonte de planejamento. Logo, as curvas de oferta de conservação de energia permitem se detectar os programas de conservação competitivos em cada intervalo de planejamento (EPE, 2007).

### 3 CONTEXTO INTERNACIONAL

#### 3.1 Análise compaativa

Ainda que barreiras sejam comuns a todos os países, o peso de cada uma depende de aspectos econômicos, culturais, organizacionais e educacionais. Comparado com outras grandes economias no mundo, o Brasil ainda tem muito a fazer para aproveitar seu grande potencial de conservação e uso racional de energia. Uma sinalização disso é o relatório “*The 2014 International Energy Efficiency Scorecard*” publicado pelo *American Council for an Energy-Efficient Economy* (ACEEE, 2014), uma organização não governamental dos EUA que fomenta a EE através de estudos, programas de investimentos, atuação política e outros mecanismos.

O relatório apresenta um *ranking* com as dezesseis maiores economias do mundo de acordo com suas ações em EE para as seguintes métricas: programas de governo; edificações; indústria; e transportes. A figura abaixo apresenta o *ranking* e a posição do Brasil.

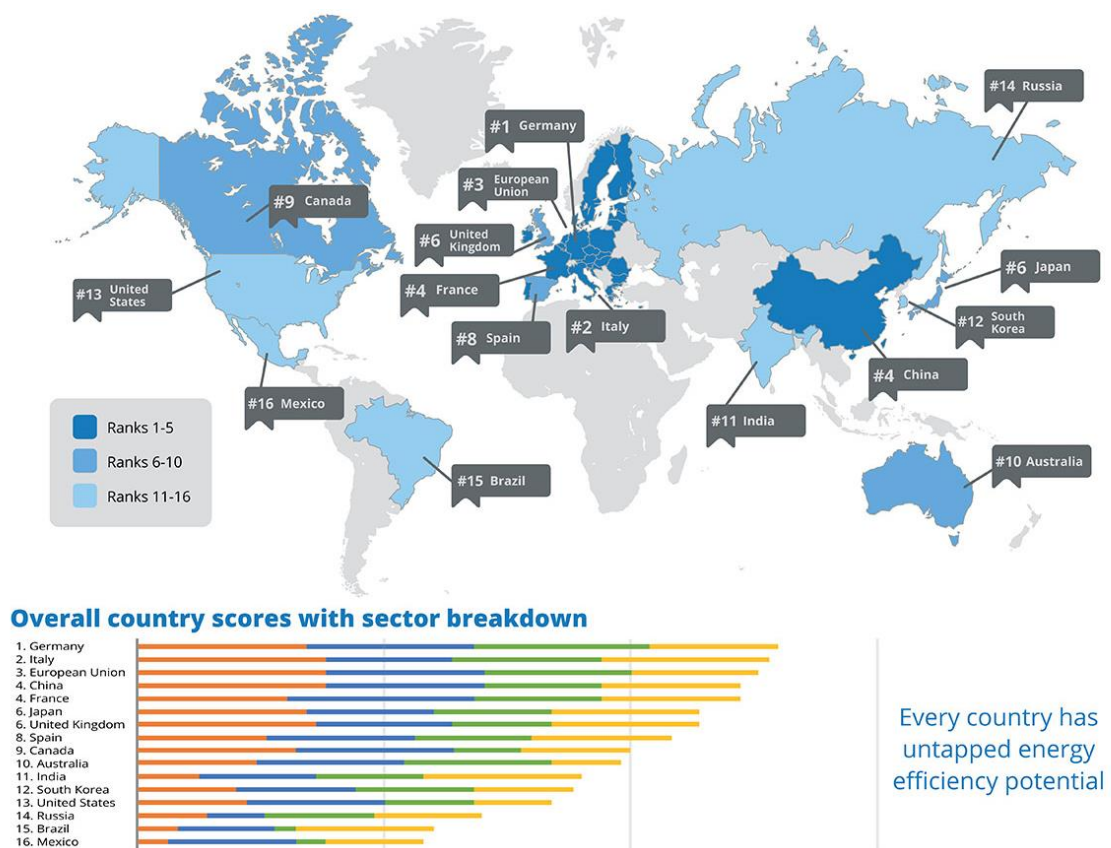


Figura 3.1-Ranking de EE.  
Fonte: ACEEE2 (014)

O país mais eficiente do mundo nesse quesito é a Alemanha, seguida pela Itália e com o agregado da União Europeia em terceiro lugar. Entre os países do grupo BRICS, a China aparece em 4ª lugar, a Índia fica com a 11ª posição e a Rússia logo antes do Brasil (penúltimo lugar, um sinal do grande potencial de conservação de energia a ser aproveitado).

O ACEEE elaborou o *ranking* dividindo a avaliação em quatro áreas, cada uma com uma pontuação máxima de 25 pontos. No total, o Brasil obteve 30 pontos, dos 100 possíveis. O pior desempenho do país foi no tópico da Indústria, no qual recebeu apenas 2 pontos.

Dentre os pontos destacados no relatório está que a política energética brasileira enfatiza a produção de energia renovável, mas deixa uma grande quantidade de EE intocada.

Entre os pontos nos quais o Brasil tem bastante a melhorar, o ACEEE menciona a **não existência de padrões obrigatórios para instalações elétricas em prédios e residências e que as exigências sobre EE só se aplicam a poucos equipamentos eletroeletrônicos.**

O relatório também menciona que o país se beneficiaria de acordos voluntários entre os setores público e privado para melhorar a EE na indústria, que incluiriam a criação de cargos específicos para cuidar dessa questão ou o estabelecimento de auditorias periódicas.

O México, que é o grande rival do Brasil na preferência dos investidores entre os países da América Latina, tem a pior EE entre as economias analisadas pelo ACEEE. Os problemas se concentram principalmente na indústria.

A Rússia, por sua vez, aparece junto com Brasil e México no fim da tabela. A intensidade energética nas residências russas é uma das maiores do mundo, com políticas muito fracas para estimular a economia de energia. Além disso, as termelétricas do país também estão entre as menos eficientes.

Já Índia e China estão melhores colocadas no *ranking*. Em ambos os casos, o forte uso do transporte público é um ponto positivo, enquanto os chineses também se destacam pelos estímulos aos veículos híbridos e elétricos, embora a EE nas indústrias ainda seja baixa.

### **3.2 Experiências selecionadas**

Algumas experiências internacionais merecem destaque:

- **Estados Unidos**

Os Programas *Better Buildings* e *Better Plants* do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) demonstram importante parceria entre cerca 150 indústrias em 2.300 instalações que consomem 11% da energia das manufaturas nos EUA e cobrem ainda os setores de saneamento e abastecimento d'água. Neste programa, fabricantes e organizações de consumidores de energia em escala industrial se comprometem a melhorar desempenho energético através da assinatura de um acordo voluntário de redução da intensidade energética de 25% em período de dez anos.

As empresas parceiras do programa se beneficiam de apoio técnico do DOE e são capazes de implementar melhorias de EE rentáveis, que economizam energia e melhoram a competitividade. Até o momento, as empresas parceiras do *Better Plants* já economizaram cerca de 94 TWh e quase US\$ 1,7 bilhões em custos de energia acumulados.

Outro programa de destaque é o selo ENERGY STAR, programa voluntário da agência de proteção ambiental norte americana (EPA) que auxilia empresas e indivíduos a aprimorar a EE. Criado em 1992, o selo tem impulsionado a adoção de produtos, práticas e serviços energeticamente eficientes através de parcerias nos diversos setores da economia, ferramentas de medição objetivas e educação do consumidor.

A ênfase do programa nos testes, avaliações de terceiros e na conformidade na seleção reforça sua integridade e garante que os consumidores podem confiar nos produtos com selo ENERGY STAR. Outra estratégia fundamental para qualquer programa de caráter voluntário é o estabelecimento de parcerias, como as que foram feitas com grupos jovens visando influenciar as gerações mais novas e também os membros mais velhos das famílias americanas.

Atualmente, 85% dos americanos reconhecem o selo ENERGY STAR. E, das famílias que conscientemente compraram produtos com o selo, cerca de 75% reconheceram que o mesmo foi um fator importante para a tomada de decisão. Quanto à redução acumulada de emissões de gases de efeito estufa no período 1992-2013, os resultados indicam que 2.198 MMtCO<sub>2</sub>eq deixaram de ser lançadas na atmosfera.

- **União Europeia**

A União Europeia (UE) estabeleceu uma Diretiva para EE na qual definiu meta de economia de energia de 20% do consumo projetado para 2020, quando comparado ao nível projetado em 1990 (EUROPEAN PARLIAMENT, 2012). Mantida a trajetória atual, a expectativa é que

esta meta seja parcialmente frustrada, com 18% a 19% de economia alcançada (apesar da maior parte se dever à menor taxa de crescimento econômico, não propriamente por medidas de EE). A UE prevê ser ainda possível atingir a meta, sem medidas adicionais, caso os Estados Membros se esforcem para acelerar as Diretivas da UE em suas legislações nacionais. Em outubro de 2014, os países membros da UE concordaram com uma nova meta para EE: 27% ou mais até 2030.

Outra medida a ser destacada na Diretiva de Eficiência Energética da UE, já implementada em alguns Estados Membros, é a **obrigatoriedade de grandes empresas realizarem auditorias energéticas** com periodicidade de cada quatro anos. Na Alemanha, uma lei foi aprovada no parlamento, tornando a medida efetiva a partir de dezembro de 2015. A mesma lei estabeleceu critérios para as auditorias energéticas. O governo alemão estima que cerca de 12 mil empresas farão auditoria energética anualmente e que os custos resultantes – ainda que difíceis de prever – devem variar entre 2400 e 8000 euros. No que diz respeito aos benefícios, o projeto de lei refere-se a estimativas da Comissão Europeia no contexto da Diretiva de Eficiência Energética, segundo o qual a economia de energia média seria de 20%, sendo que **metade deste montante seria obtida com pouco ou nenhum investimento** – o que só reforça a importância das auditorias. O mesmo projeto de lei menciona que, de acordo com informações da indústria, a economia das empresas alemãs provavelmente será menor por já serem mais eficientes.

A União Europeia (UE) conta com uma base de dados consolidada em EE que vem sendo desenvolvida desde a década de 1990. O projeto ODYSSEE-MURE reúne representantes dos 28 Estados-Membros da União Europeia mais a Noruega. Tem como objetivo monitorar as tendências e medições de EE na Europa usando dois bancos de dados complementares online: ODYSSEE, que contém indicadores de EE, incluindo dados detalhados sobre o consumo de energia, atividades e emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas (cerca de 1.000 séries de dados por país) e MURE - que fornece as medidas contidas nas políticas de EE, incluindo o seu impacto (cerca de 2000 medidas). Os dados de entrada para os indicadores são fornecidos pelas agências nacionais de energia de acordo com as definições e orientações harmonizadas e baseiam-se principalmente em estatísticas e outras fontes de dados nacionais (ODYSSEE-MURE, 2016).

Na plataforma, as medidas podem ser selecionadas de acordo com diversos critérios (por exemplo: tipo de medida, ano de execução, público-alvo, tecnologias afetadas, avaliação de impacto etc.). Tabelas de resumo e gráficos com diferentes critérios também podem ser

criados pelo usuário. O índice ODEX é utilizado no projeto ODYSSEE-MURE para medir o progresso da EE por setores (indústria, transportes, domicílios) e para o conjunto da economia (todos os consumidores finais). Para cada setor, o índice é calculado como uma média ponderada dos índices de progresso da EE dos subsetores ou usos finais.

Além das medidas comuns a todos os países da UE devido às diretivas europeias, a plataforma ODYSSEE-MURE ainda apresenta as medidas específicas dos países contidas nos planos nacionais de ações para EE (NEEAPs). No caso do NEEAP alemão, vale ressaltar o uso de dois fatores de correção no cálculo das economias de energia: (i) para corrigir possíveis interações entre instrumentos de política pública que incluam a mesma medida; e (ii) para corrigir possíveis não conformidade, especialmente no caso de instrumentos regulatórios (FRAUNHOFER INSTITUTE, 2012).

Uma breve avaliação das medidas alemãs contidas na plataforma MURE mostra uma visão integradora, que permite o alcance de elevados potenciais através da inclusão da EE em medidas transversais como o Programa Nacional de Conservação do Clima e Ato pelas Fontes Renováveis de Energia. Vale destacar ainda que as medidas de média e alta eficiência para o setor residencial se baseiam no potencial das edificações e contam com programas específicos de financiamento do banco de desenvolvimento alemão KfW.

## 4 PANORAMA BRASILEIRO

### 4.1 Consumo de eletricidade no Brasil

Segundo dados de 2012 do Anuário Estatístico (EPE, 2015), o Brasil é 10º país com maior capacidade instalada do mundo, contando com um parque de 121 GW<sup>1</sup>. Em alguns anos deve passar a ocupar a 7ª posição, atrás somente de China, EUA, Japão, Índia, Rússia e Alemanha. Do total da capacidade instalada no Brasil, a predominância é de fonte hidrelétrica (84 GW). Térmicas convencionais somam 21 GW e usinas nucleares 2 GW. Existem ainda 14 GW de fontes renováveis (PCHs, eólica, biomassa e solar) – um segmento em rápida expansão.

O Brasil é o segundo país em capacidade instalada hidrelétrica, superado pela China (250 GW). Apesar de a capacidade instalada hidrelétrica chinesa ser o triplo da brasileira, a produção de energia é o dobro. A explicação é o Brasil possuir maior disponibilidade hídrica e conseguir utilizar os grandes reservatórios das usinas hidrelétricas em cascata para gerenciar a variabilidade e sazonalidade deste recurso. Estes reservatórios transferem água entre períodos de maior para menor disponibilidade, aumentando assim a relação entre a produção média e a produção máxima, conhecida por fator de capacidade.

Como consequência, a produção de energia elétrica no Brasil é majoritariamente renovável, com menor fator de emissão de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub> por kWh)<sup>2</sup>. Em anos hidrológicos normais, o planejamento setorial indica menor necessidade de produção de energia em termelétricas que usam combustíveis fósseis. Em anos hidrológicos desfavoráveis estas usinas são mais acionadas de forma a segurar água nos reservatórios e garantir confiabilidade de suprimento. Os custos operativos sobem, sendo repassados às tarifas dos consumidores de energia na primeira revisão tarifária subsequente.

Com relação ao consumo, o Brasil é o oitavo país da lista, respondendo por 498 TWh de energia consumida em 2014.

---

<sup>1</sup> A capacidade instalada no Brasil atingiu 134 GW em 2014.

<sup>2</sup> O setor elétrico brasileiro emite quatro vezes menos por kWh que o chinês em razão da predominância de usinas térmicas a carvão neste país e da hidroeletricidade no Brasil.

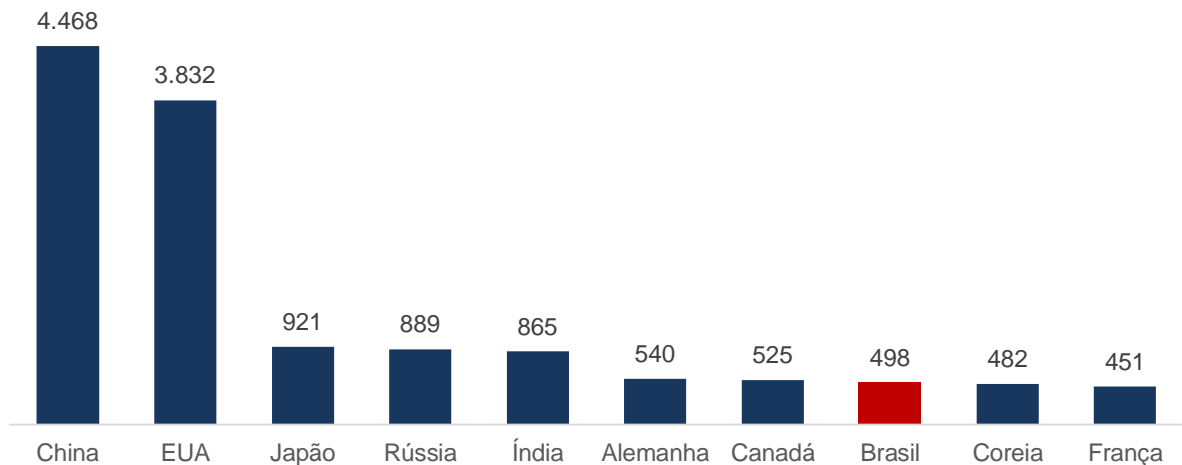


Figura 4.1-Mercado elétrico em 2014 (TWh).  
 Fonte: Elaboração própria com base em EPE (2015)

O gráfico a seguir apresenta a evolução no tempo do consumo de energia elétrica no SIN por classe de consumo. A estagnação do setor industrial dos últimos anos somada ao forte crescimento do consumo de energia elétrica residencial (impulsionado pela ascensão social da população e acesso a crédito) e consumo comercial fizeram reduzir a importância relativa da indústria. Ainda assim, é a classe com maior consumo. Ainda de acordo com EPE (2015), o consumo desta classe em 2014 foi de 180 TWh, ou 38% do total.

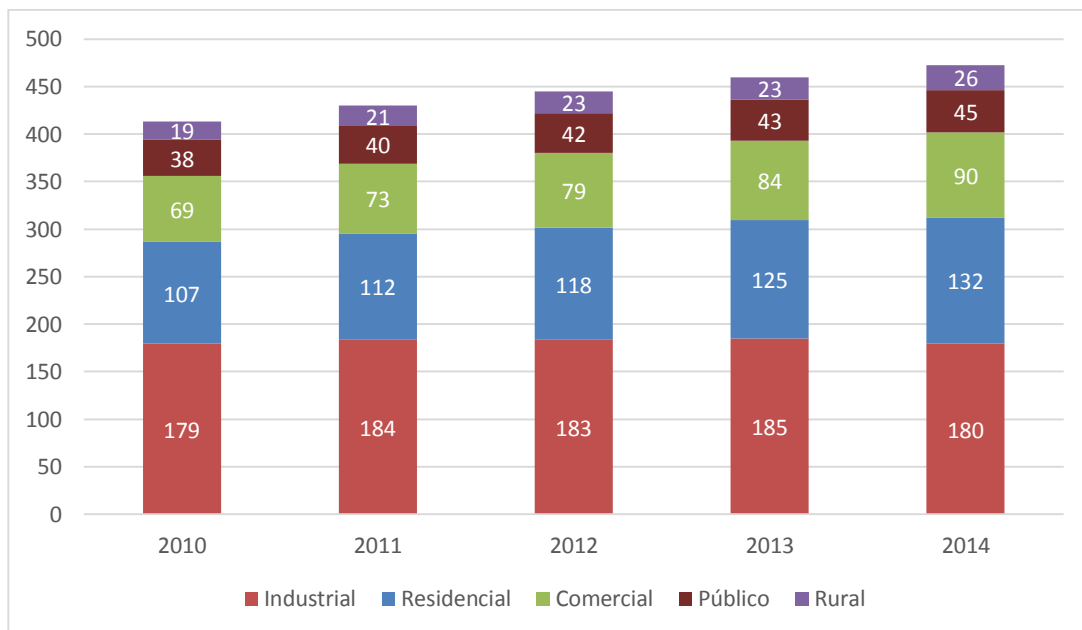


Figura 4.2-Consumo de energia elétrica no SIN por classe.  
 Fonte: Elaboração própria com base em EPE (2015)



A indústria é também a classe com maior concentração de consumo: são pouco mais de 500 mil unidades consumidoras, um valor muito pequeno quando comparado aos mais de 66 milhões de consumidores residenciais ou 5,5 milhões de consumidores comerciais. Por esta razão, destaca-se como importante classe a ser explorada sob a ótica da EE.

Três setores - metalurgia, minerais e alimentos - respondem por metade do consumo industrial. Como são atividades de grande consumo concentrado, indicam possibilidade a ser avaliada de medidas direcionadas com grande impacto sobre objetivos da EE.

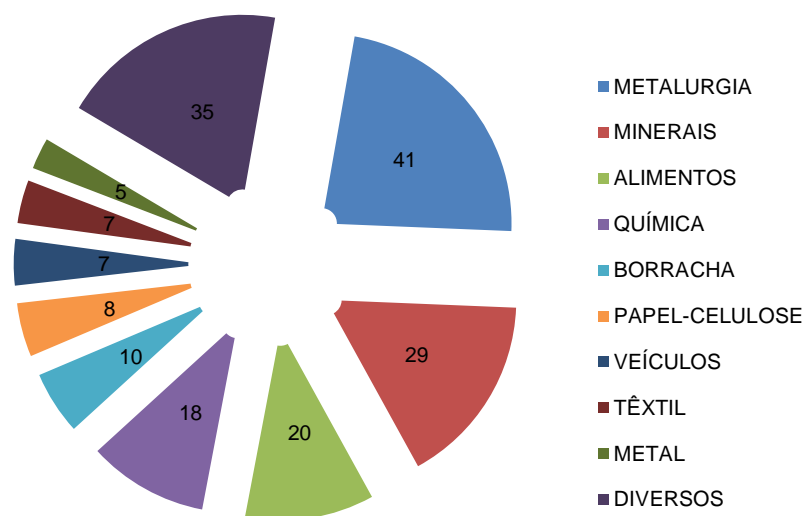


Figura 4.3-Consumo industrial de energia elétrica por setor (TWh).  
Fonte: Elaboração própria com base em EPE (2015)

## 4.2 Setor elétrico brasileiro

### 4.2.1 Arranjo institucional

O arranjo institucional do setor elétrico pode ser descrito da seguinte forma: as atividades de governo são exercidas pelo CNPE, MME e CMSE. As atividades regulatórias e de fiscalização são exercidas pela ANEEL. As atividades de planejamento, operação e contabilização são exercidas por empresas públicas ou de direito privado sem fins lucrativos, como a EPE, ONS e CCEE. As atividades permitidas e reguladas são exercidas pelos demais agentes do setor: geradores, transmissores, distribuidores e comercializadores (ABRADEE, [s.d.]).

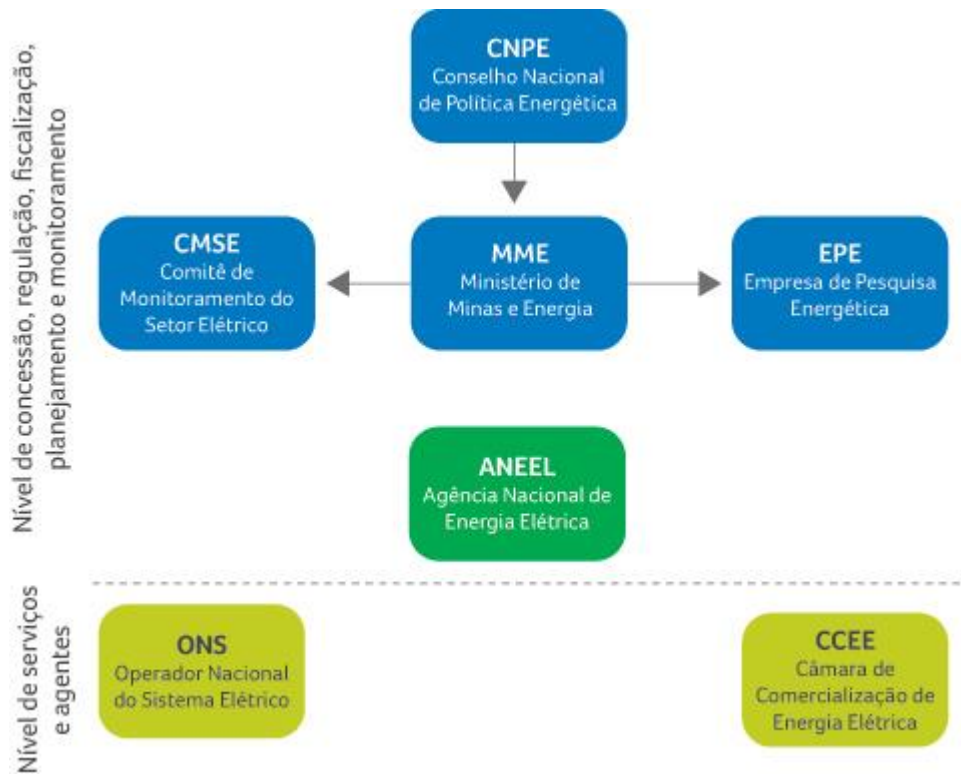


Figura 4.4-Arranjo institucional do setor elétrico brasileiro.  
Fonte: ELETROBRAS (2010).

Abaixo, segue a definição de cada órgão:

- O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, é órgão de assessoramento do Presidente da República para formulação de políticas e diretrizes de energia;
- O Ministério de Minas e Energia (MME) é um órgão do Governo Federal, responsável pela condução das políticas energéticas do país. Suas principais obrigações incluem a formulação e implementação de políticas para o setor energético, de acordo com as diretrizes definidas pelo CNPE. O MME é responsável por estabelecer o planejamento do setor energético nacional e monitorar a segurança do suprimento do Setor Elétrico Brasileiro;
- O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) foi criado pela lei 10.848, de 2004, com a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional;
- A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor

energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras;

- A missão da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade;
- A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) viabiliza a comercialização de energia elétrica no Brasil e apoia a evolução do mercado sob os pilares de isonomia, segurança e inovação;
- O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no SIN, sob a fiscalização e regulação da ANEEL.

#### 4.2.2 Segmentos

O setor elétrico brasileiro é dividido nos segmentos de geração, transporte (transmissão e distribuição) e comercialização. A partir das reformas estruturais da década de 1990, esses segmentos são administrados e operados por agentes distintos.

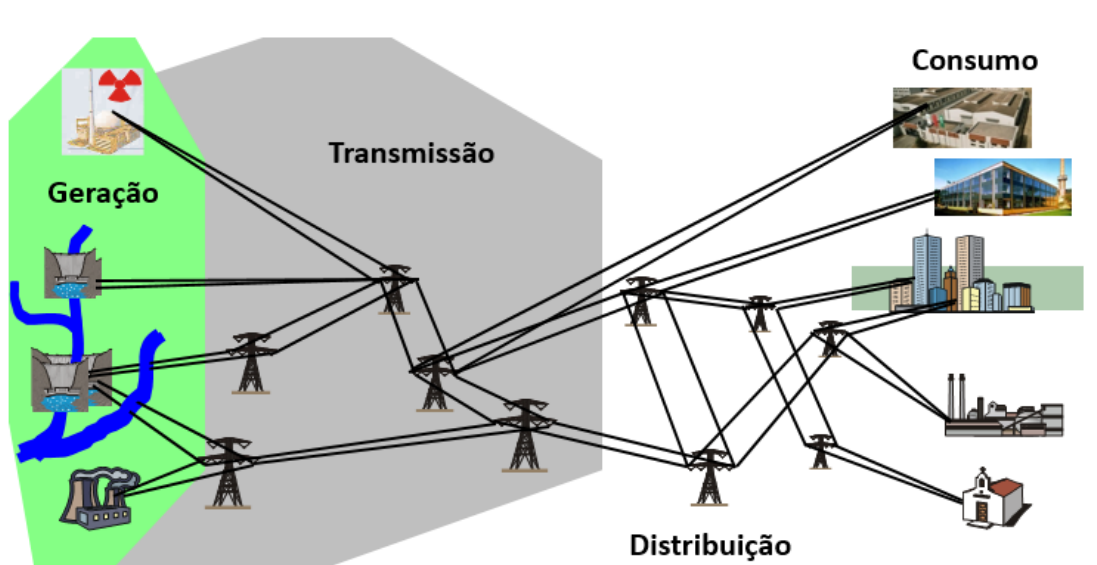


Figura 4.5-Visão geral do SIN

- **Geração**

A geração é o segmento da indústria de eletricidade responsável por produzir energia elétrica e injetá-la nos sistemas de transporte (transmissão e distribuição) para que chegue aos consumidores. Especificamente no Brasil, o segmento de geração é bastante

pulverizado, atualmente contando com 4.447 empreendimentos geradores, em sua maior parte termoelétricos, apesar de 70% da capacidade instalada ser de fonte hidroelétrica.

- **Transporte**

O segmento de transmissão é aquele que se encarrega de transportar grandes quantidades de energia provenientes das usinas geradoras para os centros de carga, através das linhas de transmissão. No Brasil, o segmento de transmissão é aquele que se caracteriza por operar linhas em tensão elétrica superior a 230 kV.

O segmento de distribuição, por sua vez, é aquele que recebe grande quantidade de energia do sistema de transmissão e a distribui de forma pulverizada para consumidores médios e pequenos. Existem também unidades geradoras de menor porte, normalmente menores do que 30 MW, que injetam sua produção diretamente nas redes do sistema de distribuição. No Brasil, esse segmento é responsável pela administração e operação de linhas de transmissão de menor tensão (abaixo de 230 kV), mas principalmente das redes de média e baixa tensão, como aquelas instaladas nas ruas e avenidas das grandes cidades. É a empresa distribuidora quem faz com que a energia elétrica chegue às residências e pequenos comércios e indústrias.

- **Comercialização**

O segmento de comercialização de energia é relativamente novo, tanto no Brasil quanto no mundo. Seu papel está muito mais relacionado ao contexto econômico e institucional do que propriamente ao processo físico de produção e transporte da energia.

Desde 2004, a comercialização de energia elétrica passou a contar com dois ambientes de negociação: o Ambiente de Contratação Regulada - ACR, com agentes de geração e de distribuição de energia; e o Ambiente de Contratação Livre – ACL (além dos consumidores livres e especiais. Há ainda o mercado de curto prazo, também conhecido como mercado de diferenças, no qual se promove o ajuste entre os volumes contratados e os volumes medidos de energia (CCEE, 2016).

Com o objetivo de alcançar a modicidade tarifária, foram instituídos no modelo atual os leilões - que funcionam como instrumento de compra de energia elétrica pelas distribuidoras no ambiente regulado. Os leilões são realizados pela CCEE, por delegação da ANEEL, e utilizam o critério de menor tarifa, visando a redução do custo de aquisição da energia elétrica a ser repassada aos consumidores cativos (CCEE, 2016). Atualmente, existem

mais de 100 agentes de comercialização de energia elétrica no Brasil, muitos deles atuando como intermediários entre usinas e consumidores livres.

### 4.2.3 Estrutura tarifária

Para fins de faturamento, as unidades consumidoras são agrupadas em dois grupos tarifários, definidos em função da tensão de fornecimento e da demanda. Estes grupos foram assim definidos:

Tabela 4.1-Grupos segundo tensão de fornecimento

Grupo	Tensão	Tarifa
A	alta tensão $\geq 2,3$ kV	binômia
B	baixa tensão $< 2,3$ kV	monômia

Assim, os consumidores do grupo B são cobrados pela tarifa monômia, isto é, pagam apenas pela energia (kWh) que consomem. Já os consumidores do grupo A são cobrados pela tarifa binômia, pagando tanto pela demanda (kW) quanto pela energia que consomem. As modalidades tarifárias são apresentadas a seguir:

- **Tarifa Convencional**

Esta modalidade é caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano.

- **Tarifa Horo-sazonal**

Esta modalidade se caracteriza pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com os postos horários (ponta e fora de ponta), horas de utilização do dia, e os períodos do ano (seco ou úmido), conforme especificação a seguir (VIANA et al., 2012):

a. Tarifa Azul: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia;

b. Tarifa Verde: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência;

Os critérios de enquadramento na modalidade de tarifa convencional ou horo-sazonal aplicam-se às unidades consumidoras do grupo A atendidas pelo SIN conforme as condições apresentadas a seguir (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2012):

I – na modalidade tarifária horo-sazonal azul, aquelas com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV;

II - na modalidade tarifária horo-sazonal azul ou verde, de acordo com a opção do consumidor, aquelas com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada igual ou superior a 300 kW; e

III - na modalidade tarifária convencional, ou horo-sazonal azul ou verde, de acordo com a opção do consumidor, aquelas com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada inferior a 300 kW.

#### **4.2.4 Sistema Interligado Nacional (SIN)**

O SIN é o principal sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil. É um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. Seu tamanho e características permitem considerá-lo único em âmbito mundial. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica (ONS, 2016). Como já mencionado, cabe ao ONS a coordenação da operação do SIN.

O SIN está dividido em submercados, cujas fronteiras são definidas em função da presença de restrições relevantes de transmissão ao fluxo de energia elétrica no sistema. São quatro os submercados: Norte, Nordeste, Sul e Sudeste/Centro-Oeste. Considerados independentes, podem ser redefinidos pela ANEEL. Para cada um deles, são determinados preços e contabilização, o que expõe os agentes ao risco da diferença de preços entre os submercados (ANACE, 2016).



Figura 4.6-Subsistemas do SIN.

### 4.3 Legislação e regulamentação

A conservação de energia está presente na legislação e regulamentação do setor de energia no Brasil. Desde 2001, o Brasil possui um importante instrumento para a indução da EE: a Lei nº 10.295/2001. Concebida sob o entendimento de que a conservação de energia deve ser finalidade da Política Energética Nacional, a Lei estimula o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional.

Também conhecida como Lei de Eficiência Energética, é o instrumento que determina a existência de níveis mínimos de EE (ou máximos de consumo específico de energia) de máquinas e aparelhos consumidores de energia (elétrica, derivados de petróleo ou outros insumos energéticos) fabricados ou comercializados no País, bem como de edificações construídas, com base em indicadores técnicos pertinentes e de forma compulsória (MME, 2011).

Cabe ao Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE) implementar o disposto na Lei de Eficiência Energética. Suas principais atribuições são: regulamentar os níveis máximos de consumo de energia (ou mínimos de EE) de aparelhos consumidores de energia, estabelecer Programas de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados por cada equipamento regulamentado e constituir Comitês Técnicos para analisar matérias específicas.

## 4.4 Planejamento setorial

No contexto da 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), ocorrida em Paris em dezembro de 2015, o Governo do Brasil definiu sua contribuição nacionalmente determinada (iNDC na sigla em inglês) conforme explicitado abaixo:

*Expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar; **alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030** (BRASIL, 2015, pp 3-4).*

A meta de 10% de aumento de EE corrobora ainda com o Objetivo 7 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU - Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia, para todos. Mais especificamente, o objetivo 7.3 visa dobrar a taxa global de melhoria da EE até 2030. Esse compromisso se baseou nas estimativas e nos planos energéticos do governo que serão brevemente descritos nessa seção (ONU BRASIL, 2015).

### 4.4.1 Plano Nacional de Energia (PNE 2030)

É o primeiro estudo de planejamento integrado dos recursos energéticos realizado no âmbito do governo brasileiro. Conduzido pela EPE em estreita vinculação com o MME. Os estudos do PNE 2030 originaram a elaboração de quase uma centena de notas técnicas. O trabalho fornece os subsídios para a formulação de uma estratégia de expansão da oferta de energia de forma econômica e sustentável com vistas ao atendimento da evolução da demanda, segundo uma perspectiva de longo prazo (EPE, 2007).

O desenvolvimento dos trabalhos foi conduzido incorporando-se a necessária participação de importantes elementos da sociedade, com divulgação pública para esse tipo de estudo e ampla cobertura dos principais meios de comunicação. O PNE 2030 estabeleceu a meta de 10% de conservação de energia até 2030 que embasa a iNDC brasileira.

### 4.4.2 Plano Decenal de Energia 2024 (PDE 2024)

Incorpora uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta de diversos energéticos no período de 2015 a 2024. Cumpre ressaltar sua importância como instrumento de planejamento para o setor energético nacional, contribuindo para o



delineamento das estratégias de desenvolvimento do país a serem traçadas pelo Governo Federal.

Entre os destaques do PDE 2024 está o aumento da capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil, da ordem de 74 GW. Cerca de 84% desta expansão será baseada em fontes renováveis: eólica, solar, biomassa e PCH (35 GW) e hidráulica (27 GW).

#### **4.4.3 Plano Nacional de Eficiência energética (PNEf)**

O PNEf foi elaborado com o objetivo de cumprir as metas de EE estabelecidas no âmbito do PNE 2030. Desenvolvido a partir de um esforço coletivo coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, com apoio de instituições como Inmetro, EPE, Petrobrás (Conpet), Eletrobrás (Procel), Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), entre outras. Contou com participação direta de quase cem profissionais, tendo sido submetido a um processo de consulta pública.

O documento final, aprovado por meio da Portaria MME nº 594, de 18/10/2012, visa à inclusão da EE no planejamento do setor energético de forma explícita e sustentável. Está estruturado segundo 16 Diretrizes Básicas, orientando as atuações dos diversos entes públicos e privados no combate ao desperdício de energia e na construção de uma economia energeticamente eficiente. Tais ações ocorrerão mediante a escolha das formas de energia, tecnologias de equipamentos e processos operativos mais eficientes, objetivando uma meta de conservação anual de energia equivalente a 10% do consumo energético nacional no horizonte de 2030, conforme a meta estabelecida no PNE 2030. Apesar de ser uma servir de diretriz, ainda não foi realmente colocado em prática, o que tem demandado esforço adicional dos agentes.

### **4.5 Programas nacionais**

#### **4.5.1 Programa de Eficiência Energética (PEE)**

Em 1995, com o início da privatização das empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica, o Governo Federal se preocupou em garantir que o setor privado, os novos proprietários das concessionárias, investisse em EE. Desde essa data, muitas alterações ocorreram, com reflexos nas orientações para a utilização dos recursos das distribuidoras (tanto em percentagens a serem investidas como em tipologias prioritárias).

Atualmente sob a Lei nº 13.203/ 2015, o PEE determina que 0,5% da Receita Operacional Líquida (ROL) seja investida em projetos de EE, sendo que entre 60 e 80% desse montante deve ser destinado às tipologias Baixa Renda e **Rural**<sup>3</sup> (BRASIL, 2015a).

A alocação de recursos do PEE fica a cargo das distribuidoras, porém sujeita a certas diretrizes por parte da ANEEL. Essas determinam as tipologias prioritárias para investimento. As figuras abaixo apresentam a proporção de projetos por tipologia (a amostra é de 1570 projetos) e alocação de recursos, portanto, os investimentos do PEE desde a publicação da Resolução Normativa 300/2008 (ANEEL, 2008) até setembro de 2015.

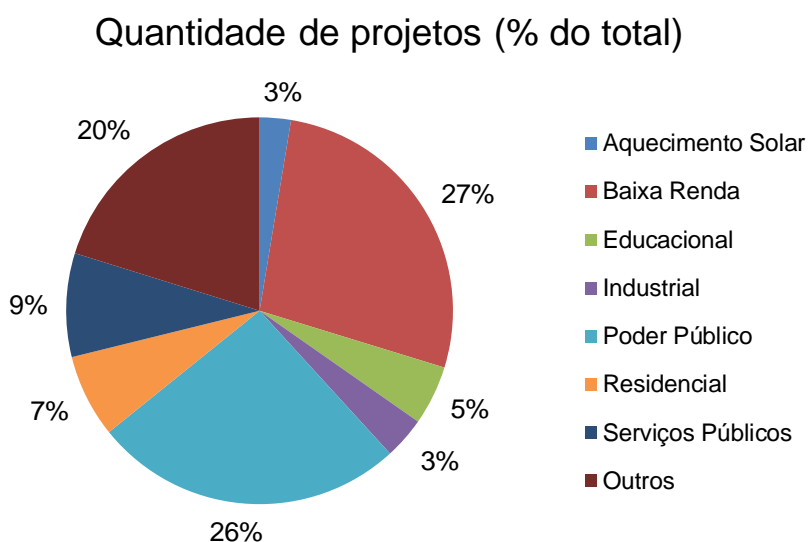


Figura 4.7-Participação das tipologias na quantidade de projetos (2008-2015).  
Fonte: Elaboração própria com base em (ANEEL, 2015).

Da Figura 4.7 observa-se que as tipologias com maior número de projetos apresentados são respectivamente: Baixa Renda, Poder Público e Outros.

<sup>3</sup> Grifo para destacar a recente alteração na legislação

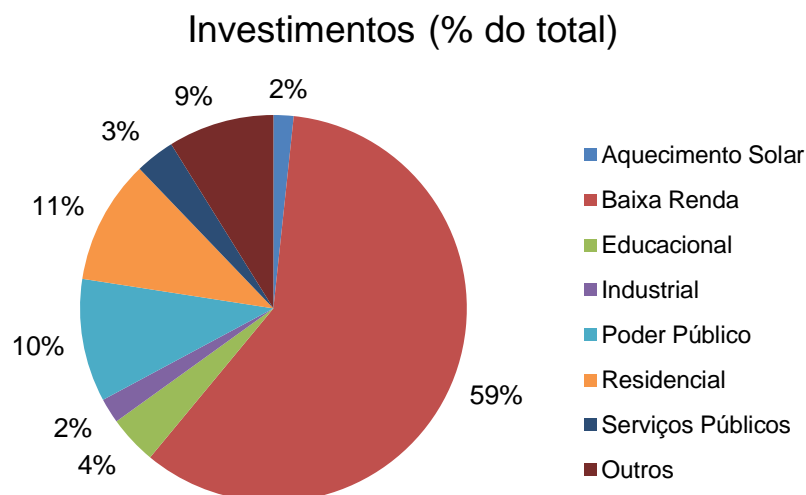


Figura 4.8-Participação das tipologias na alocação de recursos (2008-2015).  
 Fonte: Elaboração própria com base em (ANEEL, 2015)..

Com relação aos valores investidos, a análise apresenta algumas alterações. A tipologia *Baixa Renda* lidera (investimentos acumulados de R\$ 2,6 bilhões do total de R\$ 4,5 bilhões), como deveria ser, em decorrência da exigência legal desde 2008 (Resolução ANEEL 300) que estipulou alocação mínima de 50% dos recursos do PEE para esta tipologia. Porém o segundo lugar é ocupado pelo setor *Residencial*, praticamente empatado com o *Poder Público*.

Para aferir a efetividade dos projetos de PEE é importante comparar os investimentos realizados com os resultados obtidos em termos de energia economizada e demanda retirada da ponta. A Relação Custo Benefício (RCB), calculada segundo o procedimento padronizado pela ANEEL, é o melhor indicador.

A Figura 4.9 permite a comparação das RCBs médias de cada tipologia ponderadas pela energia conservada. Observa-se que as tipologias Rural, Cogeração e Residencial são as que apresentaram melhor retorno do investimento em termos de redução de energia consumida e potência na ponta. Em relação à duração das ações de EE, as tipologias *Baixa Renda* e *Residencial* duram cerca de 5 anos, *Industrial* e *Serviço Público* cerca de 10 anos, e *Cogeração* e *Aquecimento Solar* 15 anos.

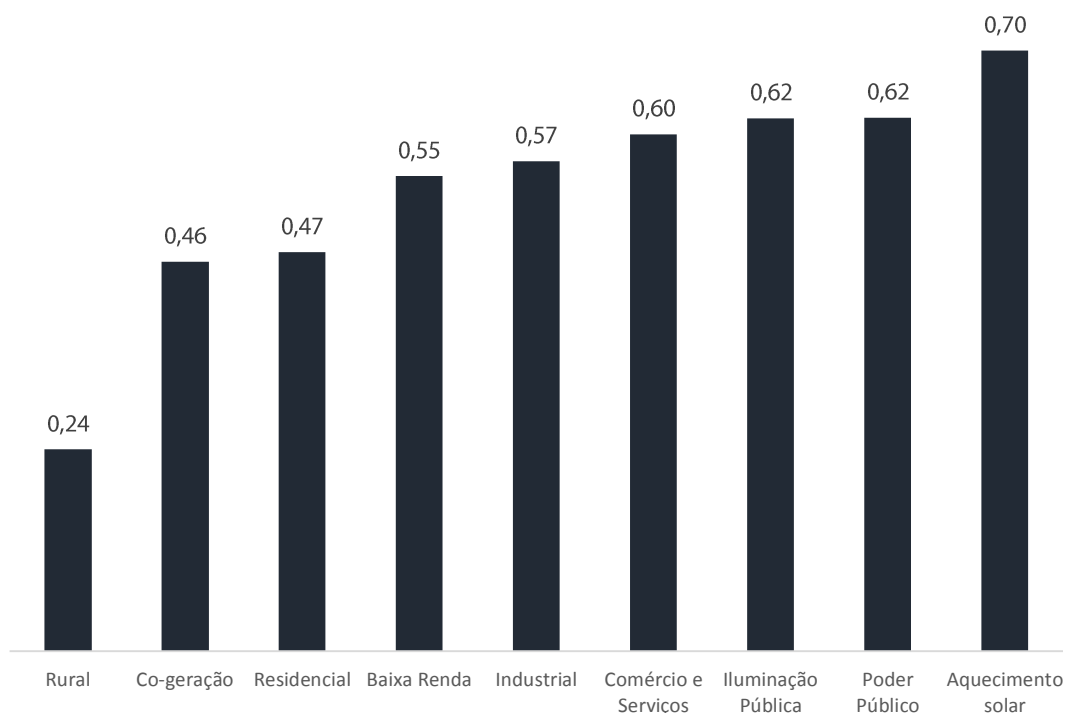


Figura 4.9-Média da relação Custo/Benefício por tipologia (2008-2015).  
Fonte: Elaboração própria com base em (ANEEL, 2015).

De acordo com a Figura 4.9, a prioridade de alocação de recursos estabelecida pela Lei nº 13.203/2015 não aparenta ser ruim, pois as tipologias Baixa Renda e Rural apresentam boa RCB. Entretanto, os valores médios podem sofrer do “mal das pequenas amostras”.

Os pouquíssimos projetos de PEE na indústria (menos de 3% do total, tanto em número de projetos como em recursos alocados) podem não ser representativos desta tipologia, que – como visto na Tabela 4.2 – é a de maior potencial de conservação. Na realidade, é esperado que mais projetos possam ser desenvolvidos na indústria com RCBs bem abaixo do valor médio apresentado na Figura 4.9 (abaixo até das tipologias com recursos prioritários). Um passo nesta direção foi recentemente dado pela ANEEL através de incentivos via PEE para trocas de motores elétricos (seção 4.10.1).

Tabela 4.2-Investimentos e potencial de conservação

Tipologia	Investimentos no PEE	Potencial PNE 2030 (mercado)
Poder Público, serviços públicos e outros	22,4%	3,6%
Aquecimento solar, baixa renda, educacional e residencial	75,5%	0,9%
Industrial	2,1%	5,5%

Uma modificação implementada pela RN Nº 556, de 18 de junho de 2013 criou as Chamadas Públicas de Projetos do PEE, promovendo maior transparência na seleção de projetos por parte das distribuidoras. Outro ponto importante dessa resolução permite a realização de investimentos com recursos do PEE em geração de energia a partir de fontes incentivadas<sup>4</sup> (energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração). Essa resolução inclui, portanto, a geração distribuída como uma medida de EE no PEE.

#### **4.5.2 Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)**

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro, fornece informações sobre o desempenho dos produtos, considerando atributos como a EE, o ruído e outros critérios que podem influenciar a escolha dos consumidores que, assim, poderão tomar decisões de compra mais conscientes. Ele também estimula a competitividade da indústria, que deverá fabricar produtos cada vez mais eficientes.

De forma geral, o PBE funciona da seguinte forma: os produtos são ensaiados em laboratórios e recebem etiquetas com faixas coloridas que os diferenciam. No caso da EE, a classificação vai da mais eficiente (A) à menos eficiente (de C até G, dependendo do produto), onde se entende que os mais eficientes utilizam melhor a energia, têm menor impacto ambiental e custam menos para funcionar, pesando menos no bolso.

---

<sup>4</sup> Consideram-se fontes incentivadas a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW, no caso de microgeração, ou com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, para o caso de minigeração, que utilize fontes com base em energia solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, (e até 3 MW no caso de centrais hidrelétricas) conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Desde que as ações de EE economicamente viáveis e apuradas em auditoria energética nas instalações do consumidor beneficiado, sejam ou já tenham sido implementadas.

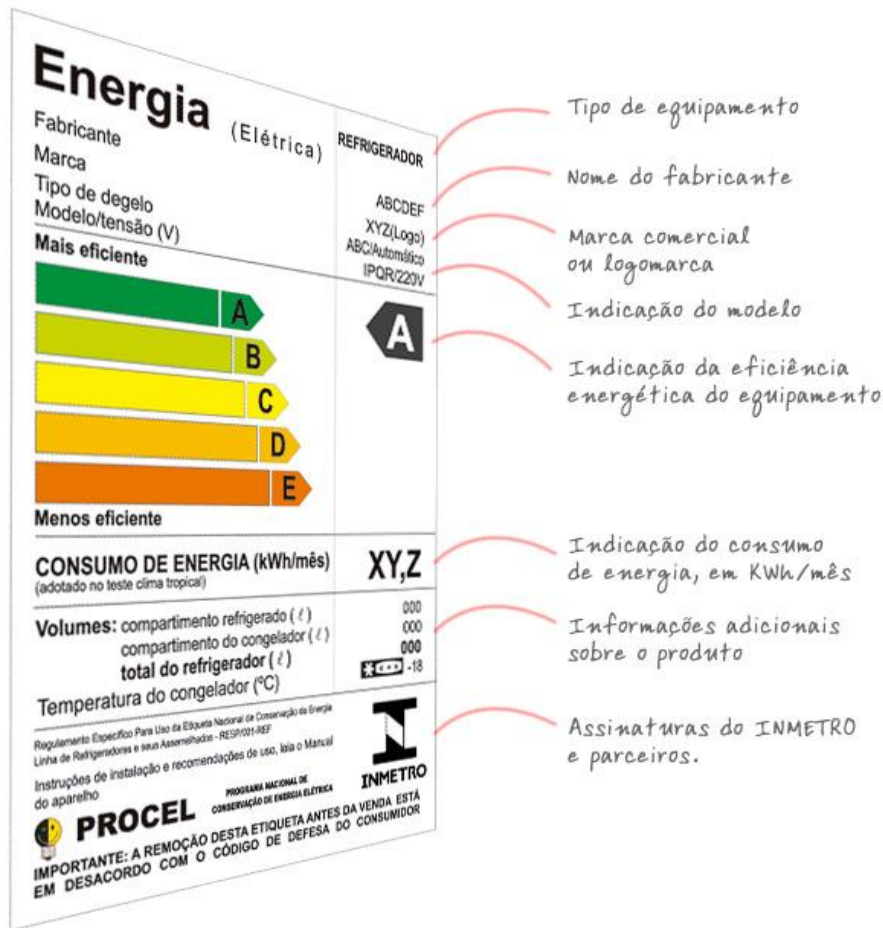


Figura 4.10-Como ler etiquetas do PBE.  
 Fonte: (INMETRO, 2015)

### 4.5.3 Programa Brasileiro de Conservação de Energia (Procel)

O Procel é um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobras. Foi instituído em 30 de dezembro de 1985 para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. Nesse contexto, o Procel promove ações de EE em diversos segmentos da economia, que ajudam o país a economizar energia elétrica e que geram benefícios para toda a sociedade (PROCEL INFO, 2015.).

As áreas de atuação do Procel são apresentadas na Figura 4.11.

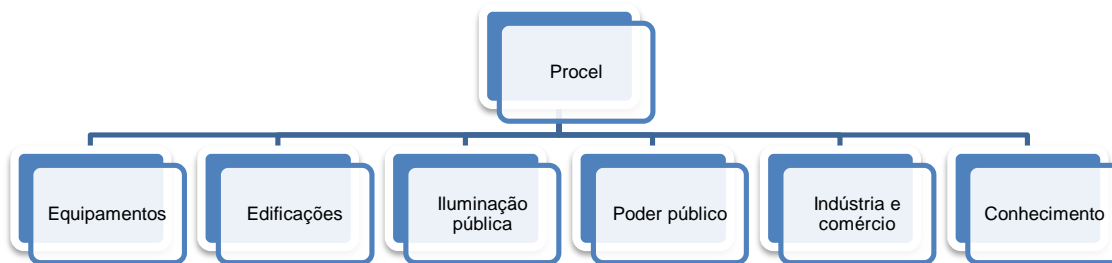


Figura 4.11-Áreas de atuação do Procel.  
 Fonte: Elaboração própria com base em (PROCEL INFO, [s.d.])

O Procel já contribuiu, por meio de suas ações, para a economia de mais de 80 TWh de energia elétrica. O selo Procel estimula a competitividade na indústria e o desenvolvimento tecnológico na busca de maior EE dos aparelhos e máquinas consumidores de energia elétrica. Em 2014, mais de 59 milhões de equipamentos com o selo Procel foram vendidos no Brasil. O uso de equipamentos com o selo ajudou o País a economizar 10 TWh no ano e reduziu em 4 GW a demanda no horário de ponta do sistema elétrico.

No processo de concessão dos selos, a Eletrobras conta com a parceria do Inmetro, executor do PBE. Apenas equipamentos classificados com A na ENCE estão aptos a receberem o selo Procel.



Figura 4.12-Selo Procel.  
 Fonte: (PROCEL INFO, 2016)

## 4.6 Padrões de eficiência

Padrões mínimos obrigatórios de EE para alguns equipamentos de uso geral na indústria já são realidade em diversos países como EUA, China e México e entre membros da União Europeia. No Brasil, a possibilidade de estabelecimento de níveis mínimos existe desde 2001, através Lei de Eficiência Energética, que permite a fixação de níveis mínimos obrigatórios de EE, ou consumos energéticos específicos máximos em equipamentos, veículos e edifícios.

O CGIEE (Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética), responsável pela implementação da lei, elabora regulamentações específicas para níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de EE para cada tipo de aparelho e máquina. Também elabora os *Programas de Metas* que determinam cronogramas de implantação e de aprimoramento dos níveis regulamentados, propiciando a contínua melhoria da EE nas máquinas e equipamentos comercializados no país, sejam eles de procedência nacional ou importada. O CGIEE já regulamentou níveis mínimos de eficiência para os seguintes equipamentos:



Figura 4.13-Equipamentos regulamentados (2002 a 2014).  
Fonte: (MME, 2014b)

No momento, encontra-se em estudo pelo CGIEE a expansão dessa regulamentação para ventiladores de teto, lâmpadas de vapor de sódio, além de novos índices para motores de indução trifásicos (as tabelas vigentes foram estabelecidas em 2005). No exterior, diversos outros equipamentos de uso geral na indústria, como bombas, compressores e caldeiras, estão entre os equipamentos que possuem padrões mínimos obrigatórios de EE.



Outro instrumento de padronização de desempenho energético são as certificações de processos. A ISO 50.001 é a certificação mais reconhecida internacionalmente. Seu objetivo é permitir que as organizações estabeleçam os sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a EE, uso e consumo. A implantação desta Norma se destina à redução nas emissões de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais relacionados à energia e os custos/economia que esse sistema de gestão de energia promoverá.

Essa Norma é aplicável a todos os tipos e tamanhos de organizações, independentemente de condições geográficas, culturais ou sociais. A implementação bem sucedida depende do comprometimento de todos os níveis e funções da organização e, especialmente, da gestão de topo.

Um ponto crucial para a obtenção da ISO 50.001, bem como para a necessária avaliação contínua de qualquer medida de EE é a elaboração de planos de medição e verificação (M&V). A M&V torna possível o acompanhamento dos resultados, permitindo que mudanças sejam feitas ao longo do horizonte da medida, aprimorando seus resultados e possibilitando melhor dimensionamento de medidas futuras.

É de interesse dos consumidores de energia, dos governos e concessionárias saber que as economias anunciadas pelos diversos programas de eficiência são fundamentadas em medições de campo executadas de acordo com um protocolo aceito por todos. Para padronizar as ações de M&V, existe o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), que conta ainda com uma vasta gama de opções de M&V para permitir aos profissionais a seleção do plano mais adequado aos seus projetos.

Recentemente, a ABRINSTAL (Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência das Instalações), em parceria com a ABNT criou o Comitê Brasileiro de Normalização, o ABNT/CB-116 Gestão e Economia da Energia, para tratar dessas questões no âmbito da normalização (GODOI, 2015).

No que diz respeito às Edificações Eficientes, o Brasil alcançou importante avanço em 2014 através da obrigatoriedade imposta pela Instrução Normativa No. 02/2014/MPOG/SLTI (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2014), que estabeleceu que os projetos de edificações públicas federais novas e aquelas que vierem a sofrer *retrofit* devem ser desenvolvidos ou contratados visando à obtenção da ENCE de edificações classe A. Assim, utiliza-se o poder de compra governamental para complementar a política iniciada pela Lei de Eficiência Energética. Essa ação está alinhada não só com o incentivo ao uso das

certificações, mas também com o comportamento observado no cenário internacional, no qual as edificações têm papel fundamental nas políticas de conservação de energia.

#### **4.7 Mercado de ESCOs**

ESCOs são Empresas de Serviços de Conservação de Energia, da sigla em inglês *Energy Services Company*. São empresas de engenharia que oferecem serviço especializado com o objetivo de auxiliar os consumidores a identificarem e implementarem medidas de eficiência, não só no uso de energia como também de água e outras utilidades.

Esse tipo de empresa é comum no exterior, sobretudo nos Estados Unidos, onde a EE ganhou força após as duas crises do petróleo, na década de 70. No Brasil, as primeiras ESCOs surgiram no fim dos anos 80, mas só deslançaram nos últimos anos, diante da crescente preocupação das empresas com o impacto ambiental de seus negócios e da necessidade de cortar custos. O faturamento das ESCOs brasileiras vem crescendo acima de 20% ao ano desde 2005 e chegou a R\$ 1 bilhão em 2014 (VALOR ECONÔMICO, 2015).

O mercado de ESCOS no Brasil vem crescendo lentamente e hoje se organiza em torno da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia - ABESCO, sociedade voltada para difundir e defender os interesses desse grupo de empresas (INEE, 2015b). Fundada em 1997 e atualmente com mais de 90 associados, a ABESCO visa fomentar e promover ações e projetos para o crescimento do mercado de EE brasileiro (ABESCO, 2015).

No Brasil, as ESCOs são, em geral, empresas de pequeno capital que atuam principalmente através de contratos de performance. Apesar de existirem muitas empresas no mercado, cerca de seis delas o controlam. São empresas grandes, geralmente pertencentes às empresas do segmento de distribuição. As ESCOs atendem geralmente clientes de grande porte dos setores comercial e industrial, mas também participam de projetos financiados pelo PEE.

#### **4.8 Competitividade industrial**

A energia elétrica é um dos insumos essenciais para a atividade industrial. A garantia de seu fornecimento, com qualidade, segurança e preços módicos, é fundamental para o desenvolvimento da economia e para o crescimento da produção industrial. Entretanto, o alto custo tarifário tem impactado a competitividade da indústria nacional em relação a outros países (FIRJAN, 2014). A Figura 4.14 mostra que o Brasil foi o primeiro colocado no

ranking de custo de energia que considerou 30 países selecionados. Esse resultado implica não apenas que temos a energia mais cara, mas também mostra que seu custo é 111% mais elevado que a média mundial.

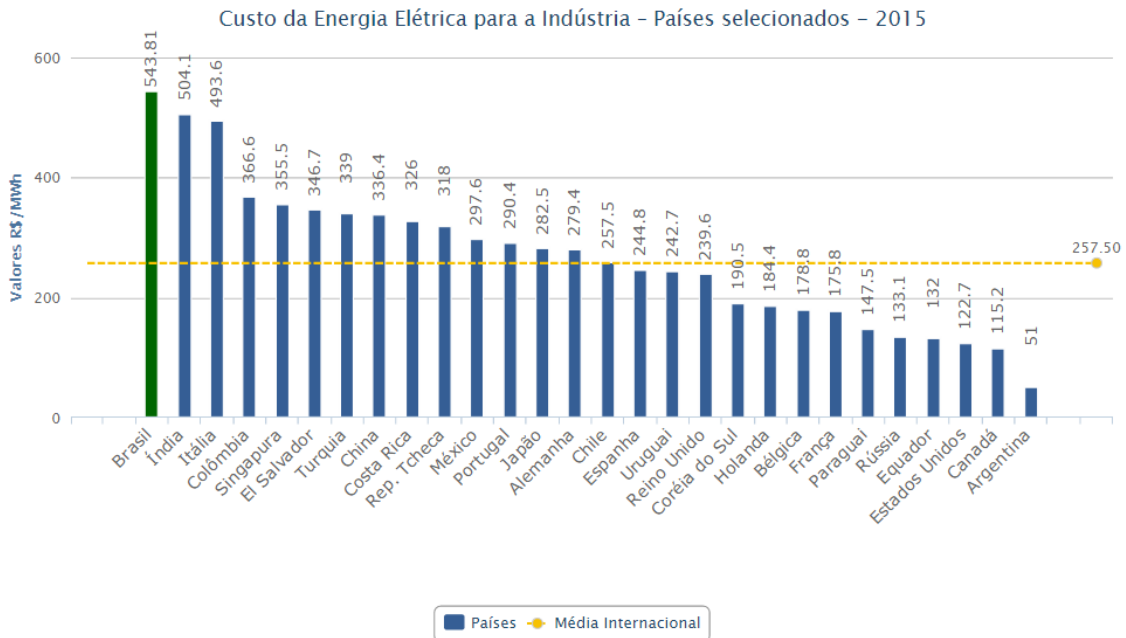


Figura 4.14-Custo da energia para a indústria em 2015.  
Fonte: SISTEMA FIRJAN (2016)

É bem verdade que 2015 acumulou grandes ajustes tarifários decorrentes da baixa afluência hidrológica com consequente acionamento massivo de usinas termelétricas. Mas, ainda assim, é relevante o fato de que os tributos referentes às tarifas de energia da indústria representam parte considerável do valor cobrado, o que independe da operação do SIN. A Figura 4.15 mostra a evolução das tarifas entre 2005 e 2014, evidenciando que os tributos correspondem em média a 37% das tarifas.

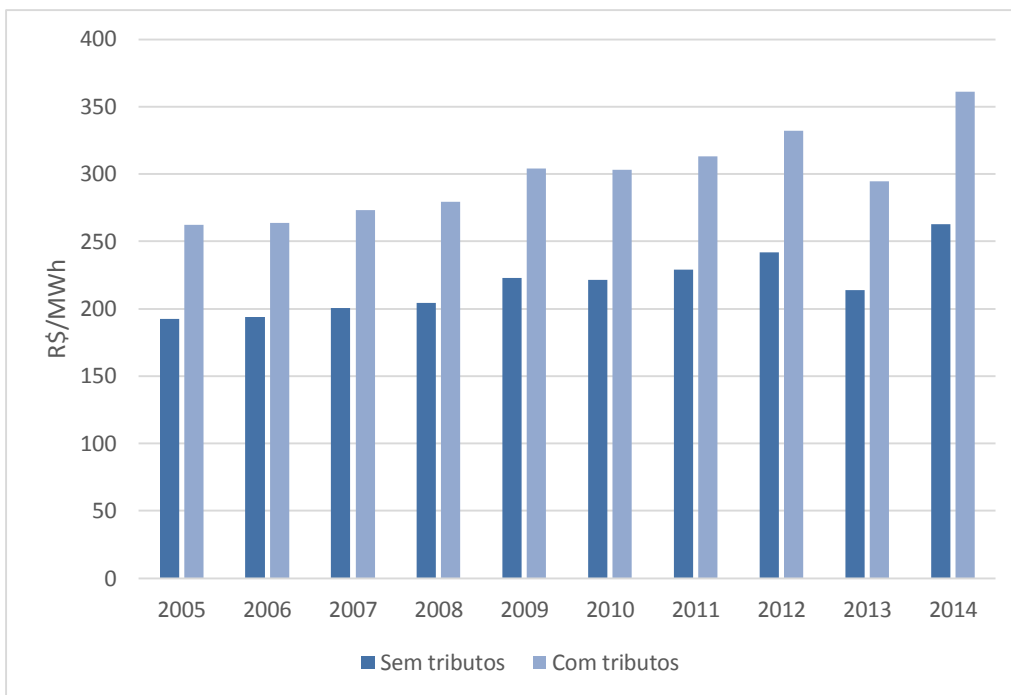


Figura 4.15-Custo médio para a indústria brasileira.  
 Fonte: Elaboração própria com base em SISTEMA FIRJAN (2015)

Vale notar que o peso dos tributos varia conforme o estado, conforme Figura 4.16.

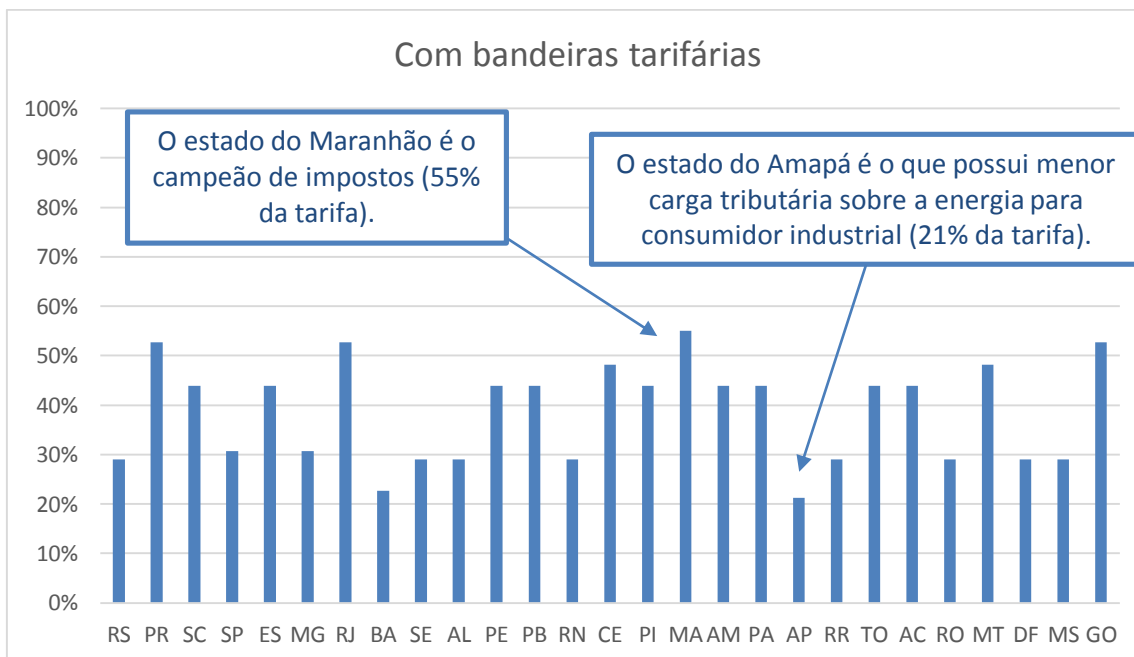


Figura 4.16-Peso dos tributos na tarifa por estado (julho de 2015)  
 Fonte: Elaboração própria com base em SISTEMA FIRJAN (2015)

Outro ponto notável é o impacto das bandeiras tarifárias nas diferentes regiões, vide Figura 4.17.

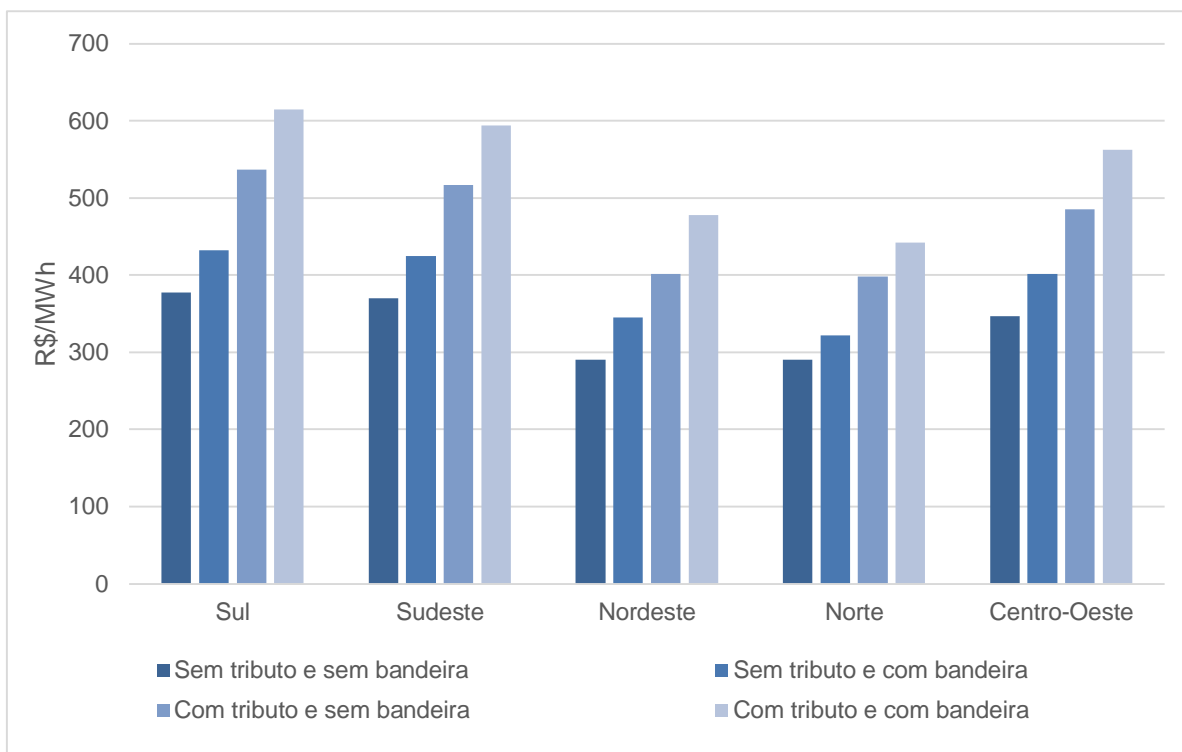


Figura 4.17-Custo médio para a indústria por região (julho de 2015).  
Fonte: Elaboração própria com base em SISTEMA FIRJAN (2015)

Nesse contexto, a EE se configura como importante elemento de fortalecimento da indústria brasileira no mercado global. Esse fato, por si só, deveria servir de indutor para que as empresas, verificando os custos que possuem com o consumo de eletricidade, procurassem torná-lo menor e mais eficiente. O resultado de investimentos mais efetivos em EE é assegurar à indústria condições mais adequadas de produtividade e competitividade.

#### 4.9 Barreiras à Eficiência Energética

Como mencionado ao longo do presente capítulo, o Brasil já possui diversos planos e programas para promoção da EE e incentivo, principalmente por parte da indústria para avançar no setor de conservação de energia. No entanto, ainda assim estamos muito aquém do desenvolvimento apresentado por economias do porte da brasileira, conforme apresentado na seção 3.1. A razão para tal é a existência de barreiras de ordem

econômica, regulatória, tecnológica e informacional que limitam o desenvolvimento pleno da EE no país. Dentre as principais barreiras identificadas estão (CNI, 2010):

- **Desinformação:** consumidores desconhecem tecnologias de conservação ou não tem clareza sobre seu desempenho ou índice custo-benefício. O nível global de conhecimento ainda é relativamente baixo, mesmo entre consumidores de maior porte, como industriais. A visão imediatista (menor investimento inicial, independente de sobre-custos operativos de longo prazo) é um sintoma da desinformação. É necessário desenvolver campanhas de esclarecimento para o público leigo e, para alguns profissionais, treinamento para identificar oportunidades de EE e fazer a gestão dos projetos que forem viáveis;
- **Desinteresse:** quem compra um equipamento pode não ser a mesma pessoa que paga a conta pela energia consumida. Portanto, mesmo que o comprador seja informado e não haja restrição orçamentária, pode não haver estímulo para a aquisição de um equipamento eficiente. Além disso, para certos agentes como as distribuidoras, aumentar a EE causa redução direta de seu mercado, o que também gera desinteresse ou resistência;
- **Expansão:** priorização por agentes econômicos por investimentos na expansão de suprimento (construção de novas usinas e redes de energia) com relação à conservação;
- **Financiamento:** inadequação das linhas de financiamento para ações de EE, como no caso da exigência de garantias bancárias muito restritivas ou na complexidade ao atendimento de requisitos administrativos para a liberação do financiamento;
- **Priorização de investimentos:** empresas podem ter um nível de endividamento elevado, de modo que os empréstimos e investimentos voltados para conservação de energia não tem espaço no plano de ações;
- **Aversão ao risco:** gestores e mesmo consumidores residenciais temem riscos técnicos decorrentes de novas tecnologias que consomem menos energia;
- **Custos adicionais:** por vezes a implantação de uma tecnologia nova exige adaptação da infraestrutura e capacitação adicional dos operadores, o que encarece indiretamente a medida de EE ou torna menos atrativa;
- **Falta de recursos humanos e de capital:** os recursos humanos de uma empresa, seja de pequeno ou grande porte, comumente estão sobrecarregados, sendo difícil atribuir-lhes a função adicional de fomentar a EE. Além disso, muitas vezes faltam recursos para investir nesse segmento.

## 4.10 Alternativas promissoras

### 4.10.1 Motores elétricos mais eficientes

No Brasil, segundo dados de 2014, a indústria consumiu 37,8% de toda energia elétrica nacional e a força motriz em operação foi responsável por 62% dessa energia (EPE, 2015). Sendo assim, conta-se que aproximadamente 24% de toda a energia elétrica do Brasil é consumida por motores elétricos. Além disso, a idade média de nosso parque industrial é de 17 anos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS - ABRAMAN, 2013).

Estas questões foram algumas das quais levaram o governo a realizar ações como a Lei 10.295/2001 complementada pela Portaria 553/2005, que determinou a obrigatoriedade de níveis mínimos de rendimentos para motores elétricos trifásicos de 1 CV a 250 CV (a grande maioria do parque industrial brasileiro) fabricados a partir de dezembro de 2009 ou comercializados a partir de junho de 2010.

Entretanto, a lei serve apenas para novas aquisições, nada determinado para o parque atual instalado, antigo e que é continuamente reparado mesmo após as queimas, o que reduz a eficiência original, que, nesse caso, já é ultrapassada. Soma-se a isso o fato usual de motores operarem de modo superdimensionado, o que faz com que eles gastem bem mais do que o requerido. É comum, nos casos em que se faz a adequação de potência, obter-se economias de até 14% no consumo de energia.

A não atuação no parque instalado aponta grandes desperdícios. Segundo SOUZA (2013) o aproveitamento irregular de motores elétricos, principalmente pelo mercado de motores usados à margem da lei, provocou um desperdício de 7,1 TWh/ano em 2012.

Para fins de comparação, a Figura 4.18 mostra como os padrões europeus IE2 e IE3 mencionados na diretiva europeia 2005/32/CE de *ecodesign* (EUROPEAN PARLIAMENT, 2009) se relacionam com o padrão brasileiro vigente.

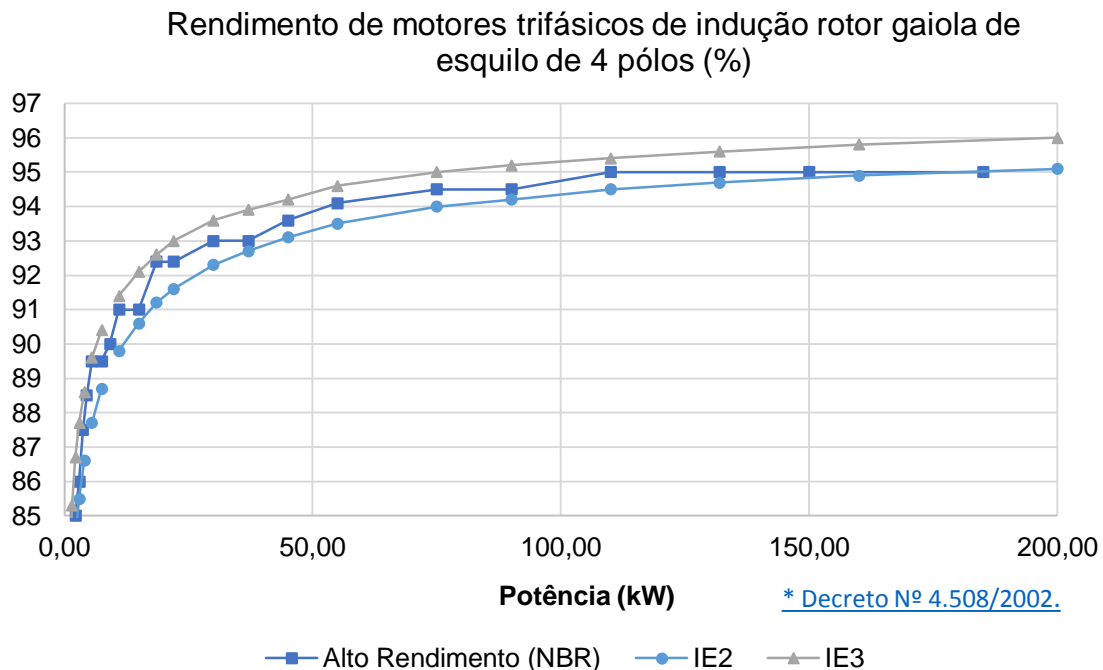


Figura 4.18-Relação entre padrões

Segundo a diretiva, a partir de junho de 2011, o nível de eficiência dos motores elétricos não pode ser inferior ao nível IE2 e, a partir de janeiro de 2015, a eficiência dos motores com potência efetiva entre 7,5 e 375 kW não pode ser inferior ao nível IE3 (ou IE2 desde que equipados com um variador de velocidade). A partir de janeiro de 2017, essa regulação se estende para motores com potência efetiva entre 0,75 e 375 kW. Nota-se, portanto, que há um contínuo aprimoramento dos padrões na Europa, enquanto no Brasil as revisões ocorrem com intervalos muito espaçados.

Nesse contexto, é muito positiva a nova frente de ação lançada pela ANEEL para estimular a troca de motores elétricos antigos por equipamentos mais modernos e eficientes. O projeto “Incentivo à substituição de motores elétricos: promovendo a EE no segmento de força motriz” (BRASIL, 2015b) foi publicado através de chamada pública no último mês de novembro e se insere na política de incentivo a ações que façam o Brasil produzir mais gastando menos energia.

A indústria brasileira possui equipamentos mais antigos e não possui o mesmo nível de eficiência e automação quando comparada às dos países desenvolvidos. No Brasil, tem-se a cultura do ajuste, da recuperação dos equipamentos, ao passo que, na Alemanha, por exemplo, o tempo médio de uso é de quatro anos. Esse posicionamento, somado aos



nossos custos exorbitantes de energia elétrica, tem nos colocado um estágio atrás da indústria mundial.

Apesar de a recuperação de equipamentos se mostrar negativa do ponto de vista energético, o incentivo à compra constante de novos equipamentos também não é positivo do ponto de vista ambiental, pois estimula a geração de resíduos eletroeletrônicos. Como, no Brasil, a logística reversa e a destinação final ambientalmente adequada ainda não estão devidamente implementadas ao longo das cadeias produtivas, faz-se necessário um esforço adicional, principalmente dos fabricantes, para promover uma alternativa de reinserção dos equipamentos ineficientes no ciclo produtivo (reciclagem), reduzindo a geração de resíduos e o consumo de matéria prima. Um bom exemplo dessa prática é o Plano de Troca WEG, programa que incentiva a substituição de motores antigos, danificados ou com baixos níveis de rendimento. No programa, um motor usado de qualquer marca entra como parte do pagamento de um motor WEG novo de maior eficiência energética.

#### **4.10.2 Iluminação por LED**

A tecnologia LED (Light Emitting Diode – ou diodo emissor de luz) é a mais recente promessa do setor de iluminação. Em 2014, o número de lâmpadas de LED vendidas no Brasil foi de 25 milhões de unidades, seis vezes mais do que em 2011, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX, 2016). Nesse ritmo, as lâmpadas LED devem representar metade do total de vendas do setor nos próximos dois anos.

Esse crescimento acelerado se deve à maior eficiência em comparação com outras tecnologias presentes no mercado. Com relação às lâmpadas incandescentes, mais antigas, a economia de energia como as do tipo LED supera 80% (AGÊNCIA BRASIL, 2015). Comparada com as fluorescentes, a tecnologia também é mais eficiente, sendo o consumo energético estimado 35% menor. Já em comparação com as lâmpadas de vapor de sódio, que predominam na iluminação pública, a economia é de cerca de 50% (FERREIRA, 2014).

No final de 2014, as lâmpadas LED foram incluídas no selo Procel. Para fazer jus ao selo, os fabricantes têm de comprovar que o produto tem, no mínimo, 25 mil horas de vida garantidas. Outros requisitos exigidos para a concessão do selo são eficiência mínima de 80 unidades de medida lúmen por watt (80lm/W) e Índice de Reprodução de Cor 80 (IRC

80), o que equivale dizer que a luz é fidedigna à luz solar (AGÊNCIA BRASIL, 2015). Alguns fabricantes, no intuito de aumentar sua fatia de mercado, tem como estratégia diminuir a vida útil de suas lâmpadas, reduzindo consideravelmente seu preço, ainda que para isso tenham que abrir mão do selo Procel. Tal conduta deve ser um ponto de atenção para os consumidores e deve ser desestimulada pelo governo no longo prazo, ainda que possa ser aceitável como forma de estímulo à conversão para LED no curto prazo.

Desde 1º de julho de 2015, as lâmpadas incandescentes de 60 watts (W) deixaram de ser vendidas no mercado brasileiro. A iniciativa atende à determinação da Portaria Interministerial nº 1.007 (BRASIL, 2010), que fixou os índices mínimos de eficiência luminosa e estabeleceu prazos para a retirada gradual das lâmpadas incandescentes do mercado nacional. Já foram retiradas de circulação as lâmpadas incandescentes de 100W, 150W e 200W. As incandescentes com potência entre 25W e 40W deixarão de ser produzidas em 30 de junho de 2016.

Na iluminação pública, além da conservação advinda da substituição das lâmpadas de vapor de sódio, devido à baixa tensão das LEDs, é possível alimentá-las através da conexão de placas fotovoltaicas a baterias de acumuladores, dispensando o auxílio da rede comum de tensão. Desta forma, pode-se fornecer iluminação aos municípios e rodovias que ainda não possuem linhas de transmissão (CASTRO et al., 2011).

Outros benefícios podem ainda ser destacados, como a não emissão de radiação ultravioleta, evitando a atração de insetos à luminária e sua degradação, contribuindo para redução dos custos para manutenção; maior resistência a impactos e vibrações; contribuição para a redução da poluição luminosa (iluminação direcionada) (CASTRO et al., 2011).

Está em curso, no município de São Paulo, licitação para implantação da tecnologia LED nas 618 mil luminárias espalhadas pela cidade. O projeto, que será desenvolvido através de uma parceria público privada (PPP), tem o horizonte de cinco (5) anos para concluir a modernização.

#### **4.10.3 Redes de EE**

Um modelo de negócios já em prática na Alemanha que ajuda a promover mais ações de EE nas organizações é a Rede de Eficiência Energética. Trata-se de um mecanismo de cooperação técnica entre empresas com o propósito de criar um ambiente de troca de experiências em melhores práticas para auxiliar as empresas participantes na gestão do

consumo de energia. A empresa alemã LEEN GmbH (Learning Energy Efficiency Networks, uma spinoff do renomado Fraunhofer-Gesellschaft) tem implementado um modelo de redes na Europa. No Brasil, o modelo está sendo desenvolvido pela consultoria PSR.

Uma Rede de EE consiste de quatro componentes principais (LEEN, 2015):

1. Uma auditoria energética para identificar e avaliar o potencial (tecnológico e econômico) de redução no consumo de energia, conduzida por especialistas com experiência em EE. Uma proposta dessa auditoria é preparada após visita do especialista às instalações da empresa de forma a avaliar sua abrangência;
2. Reuniões periódicas de compartilhamento de informações e experiências entre os participantes da Rede (aprendizagem e apoio mútuo);
3. Treinamentos práticos sobre temas tecnológicos específicos;
4. Um sistema de monitoramento das medidas de eficiência adotadas.

A experiência alemã mostra que as redes são bastante efetivas, em média gerando três vezes mais medidas de EE do que as empresas que buscam implementar medidas de forma independente (LEEN, 2015):. As empresas são selecionadas considerando sua localização (o deslocamento dos participantes não deve superar duas horas por trecho) e atividade-fim (não deve haver empresas concorrentes numa rede para evitar bloqueio no intercâmbio de informações).

Um bom sistema de monitoramento permite o acompanhamento de medidas implantadas ao longo de todo o período de participação da empresa na Rede. Essa ferramenta de gestão energética, que preenche os requisitos da certificação ISO 50.001, é útil tanto para calcular as economias de energia sob condições variáveis, como para determinar suas rentabilidades.

O monitoramento de redes já em funcionamento mostra um aumento anual da eficiência de 2,2% a.a. para empresas da Rede frente a 0,9% a.a. para outras empresas. As estatísticas das redes de empresas da Alemanha demonstram que mesmo neste país (primeiro do *ranking* de EE) ainda existem projetos de EE com boas taxas de retorno, superiores a 20% ou até 30%.

O alcance das redes é bastante amplo, podendo ser aplicada a qualquer região industrializada do país. Uma restrição importante é que as empresas dentro de uma Rede

de EE (em geral 10 a 15 empresas) estejam em uma mesma localidade geográfica, para facilitar o deslocamento para a realização das reuniões.

#### **4.10.4 Tarifa Branca**

A Tarifa Branca é uma nova opção de tarifa a ser oferecida aos consumidores do grupo B. Prevista na resolução Nº 414, porém ainda sem regulamentação específica, ela tem o papel de sinalizar a variação do valor da energia conforme o dia e o horário do consumo. Com a Tarifa Branca, o consumidor passa a ter possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana, ou seja, é uma alternativa à tarifa Convencional vista na seção 4.2.3.

Essa ferramenta permitiria a gestão da tarifa da maior parte dos consumidores das classes industrial e residencial, que juntas representaram 47% do consumo de energia elétrica do país em 2014 (vide Figura 4.2), induzindo a racionalidade no uso da energia e contribuindo, assim, para o fim do desperdício.

Se o consumidor adotar hábitos que priorizem o uso da energia fora do período de ponta, diminuindo fortemente o consumo na ponta e no intermediário, a opção pela Tarifa Branca oferece a oportunidade de reduzir o valor pago pela energia consumida. Nos dias úteis, o valor Tarifa Branca varia em três horários: ponta, intermediário e fora de ponta. Na ponta e no intermediário, a energia é mais cara. Fora de ponta, é mais barata. Nos feriados nacionais e nos finais de semana, o valor é sempre fora de ponta.

Para aderir à Tarifa Branca, os consumidores precisam formalizar sua opção junto à distribuidora. Porém, antes de tomar a decisão, é importante conhecer o perfil de consumo e utilizar ferramentas de simulação para avaliar se haverá economia real.

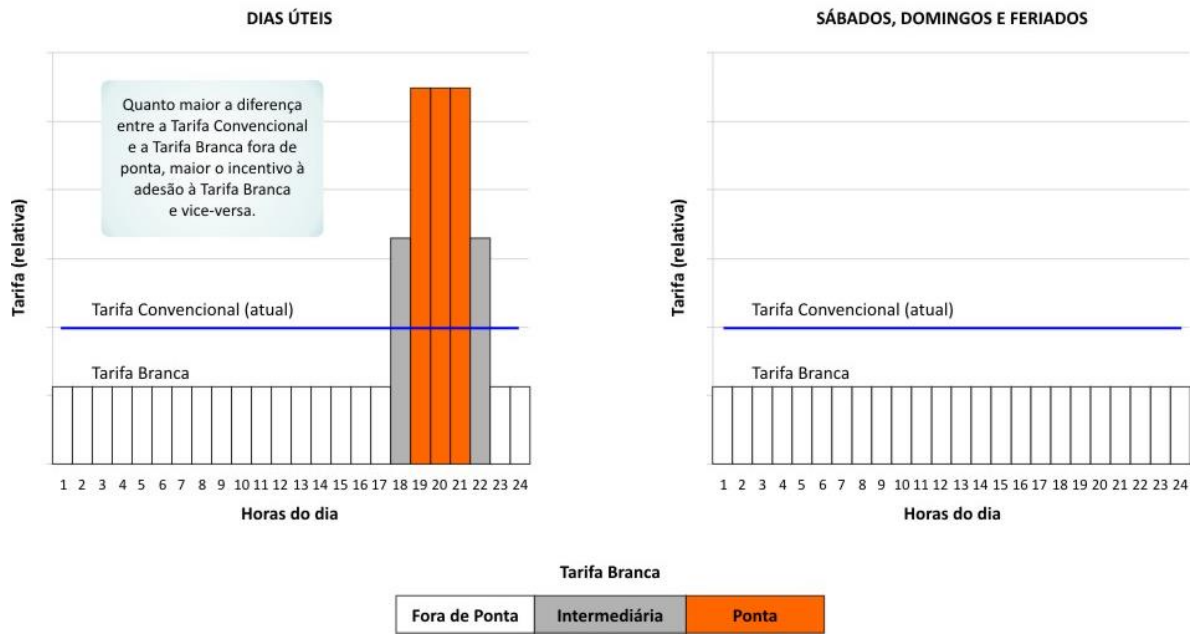


Figura 4.19 -Tarifa Branca versus Tarifa Convencional.  
 Fonte: (ANEEL, 2016)

Segundo estudo da ABESCO, a regulamentação da Tarifa Branca traria uma redução de até 13% na conta de energia dos consumidores que aderissem, o que é um grande incentivo em tempos de estresse hídrico como o atual (PROCEL INFO, 2016).

## 5 MODELAGEM DO SIN

### 5.1 Metodologia

Um Cenário de Expansão representa uma evolução do parque gerador e dos grandes troncos de transmissão, onde as necessidades de ampliação da oferta de energia elétrica são quantificadas de modo que o Cenário de Expansão possa representar uma conformação aceitável e que sejam obedecidos os critérios de qualidade e segurança no suprimento de energia elétrica. Dessa maneira, o Cenário resultante possui os atributos para garantir qualidade no atendimento do sistema.

A Figura 5.1 apresenta uma visão geral da metodologia empregada na construção dos Cenários de Expansão.

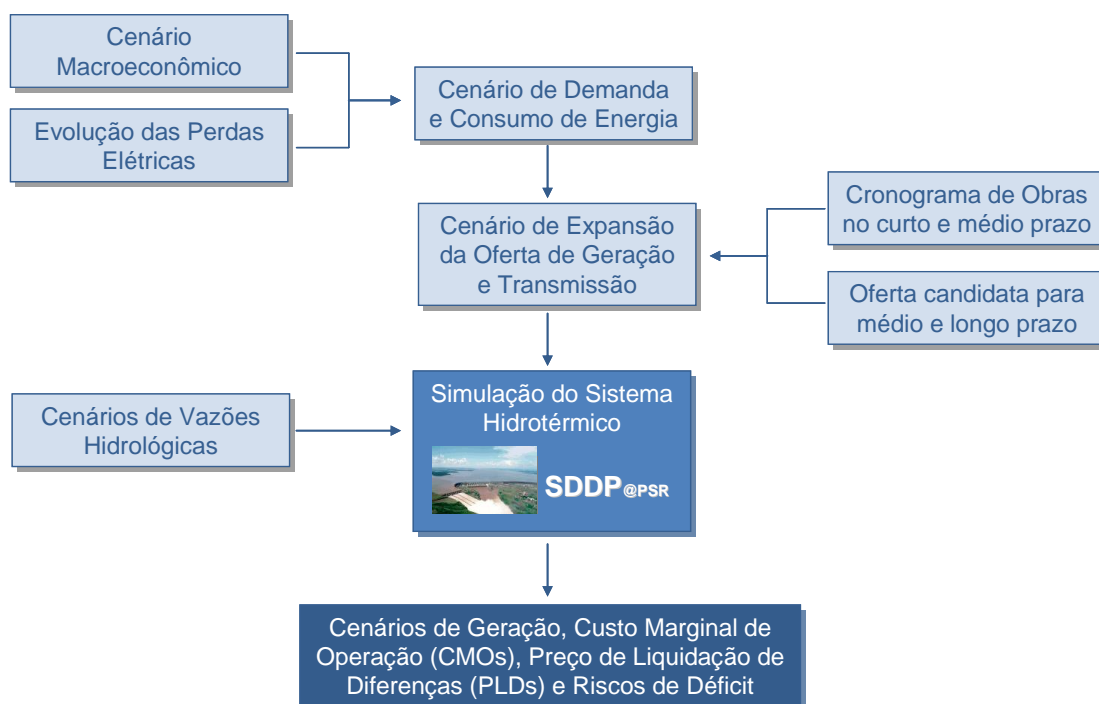


Figura 5.1-Visão geral da metodologia.

#### 5.1.1 Modelo computacional de despacho SDDP

Para simular o despacho hidrotérmico do SIN, foi utilizado o modelo SDDP<sup>5</sup> de otimização/simulação operativa de sistemas hidrotérmicos com representação integrada da

<sup>5</sup> O nome SDDP vem da metodologia de otimização da política operativa (“*Stochastic Dual Dynamic Programming*” – programação dinâmica estocástica dual) desenvolvida originalmente por Mario Veiga, da consultoria brasileira PSR.

rede de transmissão e da infraestrutura de produção e transporte de gás natural. Ele foi desenvolvido no início da década de 90, e vem sendo utilizado em estudos e/ou como parte do centro de despacho de mais de 40 países.

O modelo é utilizado para estudos operativos de curto, médio e longo prazo. Ele calcula a política operativa estocástica de mínimo custo de um sistema hidrotérmico, levando em consideração os seguintes aspectos:

- Detalhes operativos das usinas hidrelétricas (representação individualizada, balanço hídrico, limites de turbinamento e armazenamento, volumes de segurança, vertimento, filtração etc.);
- Detalhes das usinas térmicas (“commitment”, restrições de geração devidas a contratos “take or pay”, curvas de eficiência côncavas e convexas, restrições de consumo de gás, térmicas bicomustível etc.);
- Representação de mercados "spot" e contratos de fornecimento;
- Incerteza hidrológica: é possível utilizar modelo estocásticos de vazões que representam as características hidrológicas do sistema (sazonalidade, dependência temporal e espacial, secas severas etc.) e o efeito de fenômenos climáticos específicos, como por exemplo o El Niño;
- Detalhes do sistema de transmissão: leis de Kirchhoff, limites de fluxo de potência em cada circuito, perdas, restrições de segurança, limites de exportação e importação por área elétrica etc.;
- Variação da demanda por patamar e por barra do sistema, com estágios mensais ou semanais (estudos de médio ou longo prazo) ou a nível horário (estudos de curto prazo);
- Restrições de suprimento (commodity e transporte) de gás natural.

Além da política operativa de mínimo custo, o modelo calcula vários índices econômicos tais como o custo marginal de operação (por submercado e por barra), tarifas de “pedágio” e custos de congestionamento da rede, valores da água por usina, custo marginal de restrições de suprimento de combustível e outros.

A metodologia originada no modelo SDDP também é utilizada nos modelos computacionais de despacho do ONS e no cálculo dos preços CCEE. O modelo SDDP é capaz de representar em detalhe as características físicas, operativas e comerciais do sistema brasileiro, tais como reservatórios em cascata, rede completa de transmissão, limites de combustível e outros. Sua funcionalidade para estudos de longo, médio e curto prazo

abrange a cadeia completa de modelos em fase de implementação no ONS (NEWAVE, DECOMP e DESSEM).

### 5.1.2 Cenários de Expansão

A avaliação dos benefícios da maior implementação de EE será realizada através da simulação da operação do SIN para o horizonte de 2016 a 2030, considerando quatro Cenários de Expansão distintos:

- 1) **CRef**: premissa de que nenhuma ação para aumento da eficiência no consumo de eletricidade é adotada no horizonte 2030 (referência);
- 2) **C10**: redução de 10% no consumo de eletricidade projetado para 2030;
- 3) **C15**: redução de 15% no consumo de eletricidade projetado para 2030; e
- 4) **C20**: redução de 20% no consumo de eletricidade previsto em 2030.

A construção desses cenários, conforme modelo apresentado na seção 2.4.1, adota uma visão determinística de redução da demanda projetada de energia, por meio de metas de conservação. O cenário C10, mais especificamente, corresponde à meta apontada no planejamento setorial, bem como na iNDC brasileira (seção 4.4). Já os demais Cenários Alternativos (C15 e C20), tomam por base o contexto internacional, que apresenta metas mais ambiciosas que as brasileiras, ainda que que os países europeus, por exemplo, já possuam altos níveis de EE. Partindo-se do pressuposto que o Brasil tem um potencial muito maior de conservação, os cenários C15 e C20 são propostos de modo a avaliar os benefícios dessas metas mais ambiciosas de conservação.

## 5.2 Projeção de demanda

As projeções de consumo, que são um componente da projeção de demanda, foram realizadas para as classes residencial, industrial, comercial e outros, considerando como premissas os seguintes itens:

- Um cenário macroeconômico, cuja variável-chave é a taxa de crescimento do PIB;
- Um cenário de evolução da população, como indicado na Tabela 5.1.



Tabela 5.1 - Taxas de crescimento populacional.

Região	2010	2015	2020
Norte	1,30%	0,97%	0,78%
Nordeste	0,86%	0,66%	0,54%
Sudeste	0,83%	0,63%	0,52%
Centro-Oeste	1,32%	0,98%	0,80%
Sul	0,73%	0,56%	0,56%
<b>Brasil</b>	<b>0,90%</b>	<b>0,58%</b>	<b>0,56%</b>

Fonte: IBGE

- Estimativas para a evolução futura de alguns parâmetros técnicos, como, por exemplo, a elasticidade consumo-renda (obtida com base nos dados históricos de mercado) e o nível de perdas elétricas no sistema (ver Figura 5.2), além de considerações sobre as características e os perfis prováveis desse mercado no futuro.

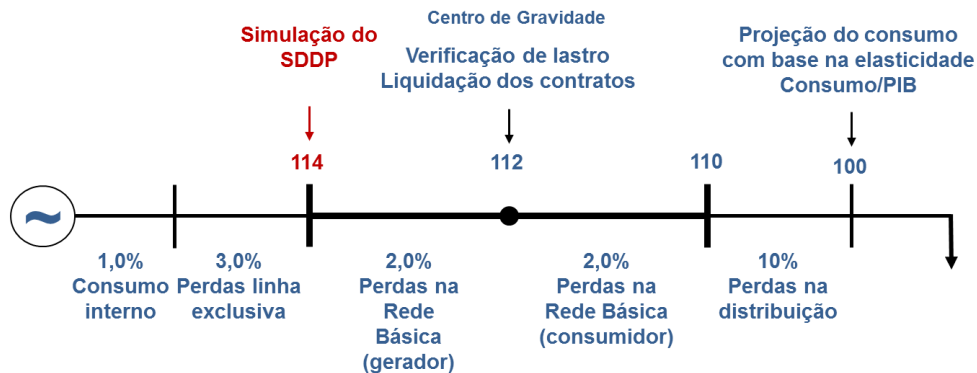


Figura 5.2-Estimativa futura de parâmetros técnicos.

- Estimativa de aumento da eficiência no uso final da energia, realizada através do aumento nos coeficientes globais de rendimento para cada classe de consumo.

A Figura 5.3 ilustra o processo de projeção da demanda:

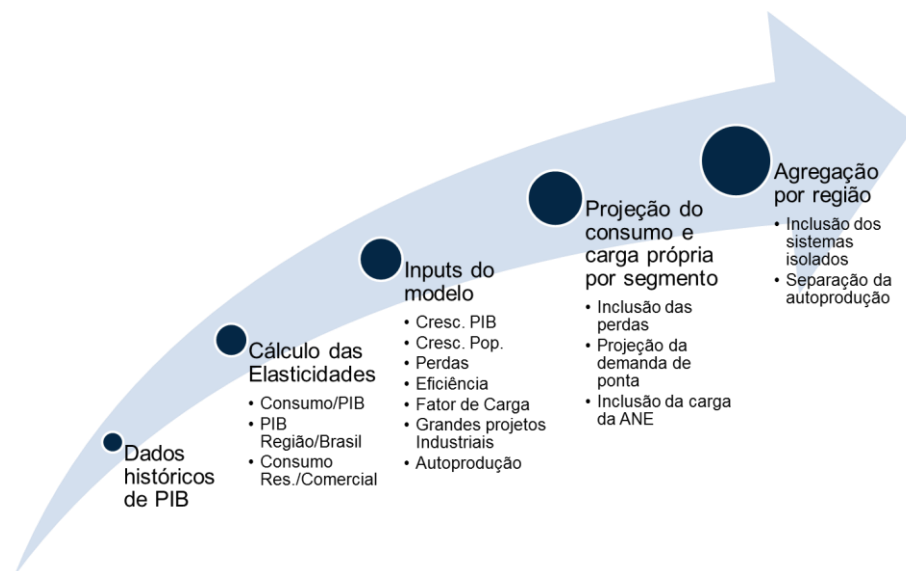


Figura 5.3-Processo de projeção de demanda.

A partir das projeções de consumo, e considerando hipóteses adicionais sobre a evolução das perdas elétricas, foram projetadas as cargas próprias<sup>6</sup> de energia para os quatro Subsistemas Elétricos Interligados – Norte, Nordeste, Sudeste/Centro-Oeste e Sul, incluindo as interligações com os Subsistemas atualmente isolados Acre/Rondônia e Manaus, e, a partir destes, para os Sistemas Interligados Norte/Nordeste e Sul/Sudeste/Centro-Oeste, assim como para o SIN.

Para o horizonte 2016 a 2019, o cenário macroeconômico utilizado neste estudo se baseia na estimativa do mercado para a evolução do PIB nacional<sup>7</sup> de acordo com o relatório FOCUS divulgado pelo Banco Central em outubro de 2015. Para o horizonte de 2021 a 2025 considerou-se um valor constante de crescimento de 3,0% ao ano, e para o horizonte de 2026 a 2030 considerou-se um valor constante de crescimento de 3,5% ao ano.

Tabela 5.2 - Projeção de crescimento do PIB.

Período	2016	2017	2018	2019	2020	2021-2025	2026-2030
Crescimento do PIB	-2%	1,3%	1,9%	2,1%	2,3%	3,0%	3,5%

A Figura 5.4 consolida a projeção do requisito de energia (carga própria) do sistema até 2030, incluindo as interligações Acre/Rondônia, Tucuruí/Manaus/Macapá e a carga da

<sup>6</sup> Montante total de energia requisitado por subsistema em determinado período. Inclui todas as perdas de energia entre produção e consumo.

<sup>7</sup> Os valores apresentados neste trabalho, tanto para projeções de crescimento do PIB quanto para elasticidade PIB/consumo, já levam em consideração a nova metodologia do IBGE. Com relação às previsões feitas em setembro de 2015, os valores aqui apresentados para 2015 e 2016 são superiores. No entanto, a influência a médio e longo prazo é pequena, não justificando reprocessar as simulações.

ANDE (Paraguai). No caso da ANDE cabe destacar que a partir de 2023, o término do tratado de Itaipu foi adotada a premissa de instalação de plantas de alumínio neste país. No CRef, admitiu-se crescimento de mercado de 6% ao ano durante o horizonte 2016 a 2018, 11% ao ano durante o horizonte 2019 a 2023 e 6% ao ano durante o horizonte 2024 a 2030.

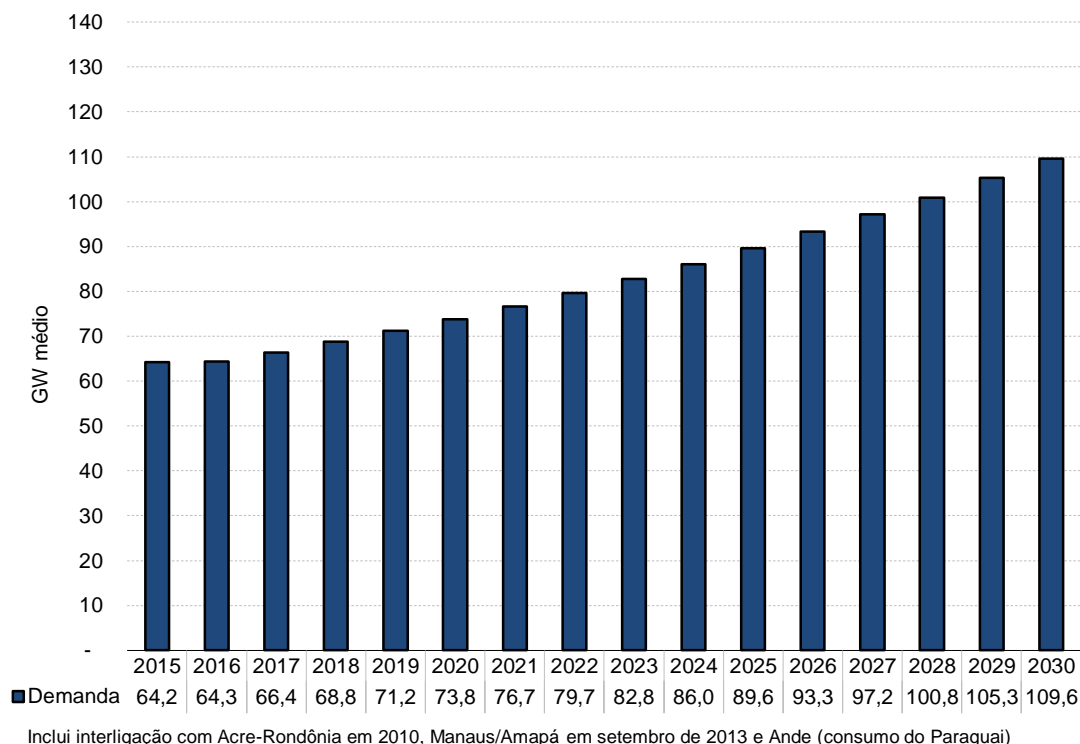


Figura 5.4-Projeção do Requisito de Energia.

### 5.3 Expansão da oferta de geração

Uma vez preparado o cenário de projeção de demanda, o próximo passo consiste em ajustar um cenário indicativo de expansão da oferta de energia elétrica. Este cenário é composto por projetos de geração e interconexões de transmissão entre subsistemas.

Para tanto, a elaboração do Cenário de Expansão deve procurar retratar a tendência da expansão do Setor Elétrico Brasileiro (dadas as opções de expansão disponíveis) de maneira a aderir à projeção de demanda (Cenário de Mercado de Energia Elétrica), discutido na seção anterior.

O Cenário de Expansão deve ser construído de tal modo que considere a *competitividade* das diversas tecnologias (mínimo custo global para o consumidor) e *aspectos regulatórios* do sistema brasileiro que afetam a expansão.

Três aspectos regulatórios principais afetam o total de oferta que será construído:

1. Exigência de 100% de cobertura da demanda por contratos, que por sua vez devem ser respaldados por igual montante de certificados de garantia física (Figura 5.5);

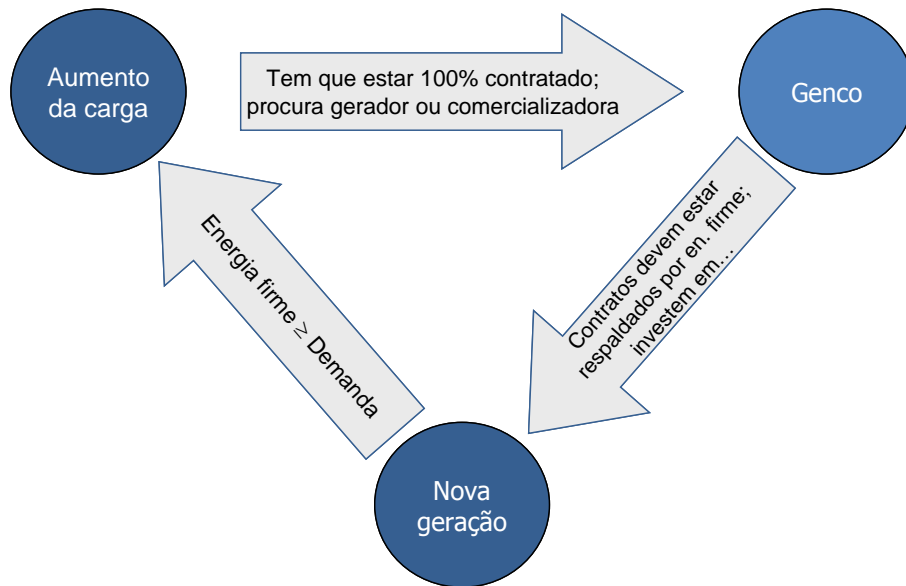


Figura 5.5-Consequência da exigência de 100% de cobertura da demanda.

2. As incertezas no crescimento da demanda levam as distribuidoras a estabelecer uma estratégia de contratação de energia nos leilões que, em geral, se traduz em um nível de *sobre contratação*, aumentando, conseqüentemente, a oferta total de energia;
3. Os leilões de reserva de geração, recentemente propostos pelo governo, também poderão levar a uma *oferta adicional*.

Com base nas questões acima mencionadas, conclui-se que os aspectos regulatórios (1) e (2) não justificam qualquer excesso de energia em relação à demanda. Qualquer excesso de oferta é mais justificado pela contratação de energia de reserva (item (3)), que é uma decisão política do governo.

Outros aspectos regulatórios afetam o “*mix*” de geração na expansão do sistema:

- Os chamados projetos estruturantes, tais como as usinas do Rio Madeira e Belo Monte, são construídos por determinação do governo, com contratação compulsória pelas distribuidoras.
- Os leilões com antecedência de 5 e 3 anos (A-5 e A-3) afetam a proporção de usinas hidrelétricas (que devido ao maior tempo de construção só podem concorrer nos

leilões A-5) e termelétricas (que concorrem nos dois leilões) na expansão do sistema.

- Os leilões de contratação de energia de reserva serão provavelmente direcionados às energias renováveis, como é o caso do leilão de reserva realizado em 2008, exclusivo para usinas à biomassa, e do leilão realizado em dezembro de 2009, exclusivo para energia eólica.

Visando identificar a capacidade necessária a ser adicionada a partir de 2020, o Cenário de Expansão da oferta foi construído de acordo com a disponibilidade dos projetos candidatos, sua competitividade e considerando o critério de expansão do sistema. A Figura 5.6 mostra as opções de expansão do sistema neste período.

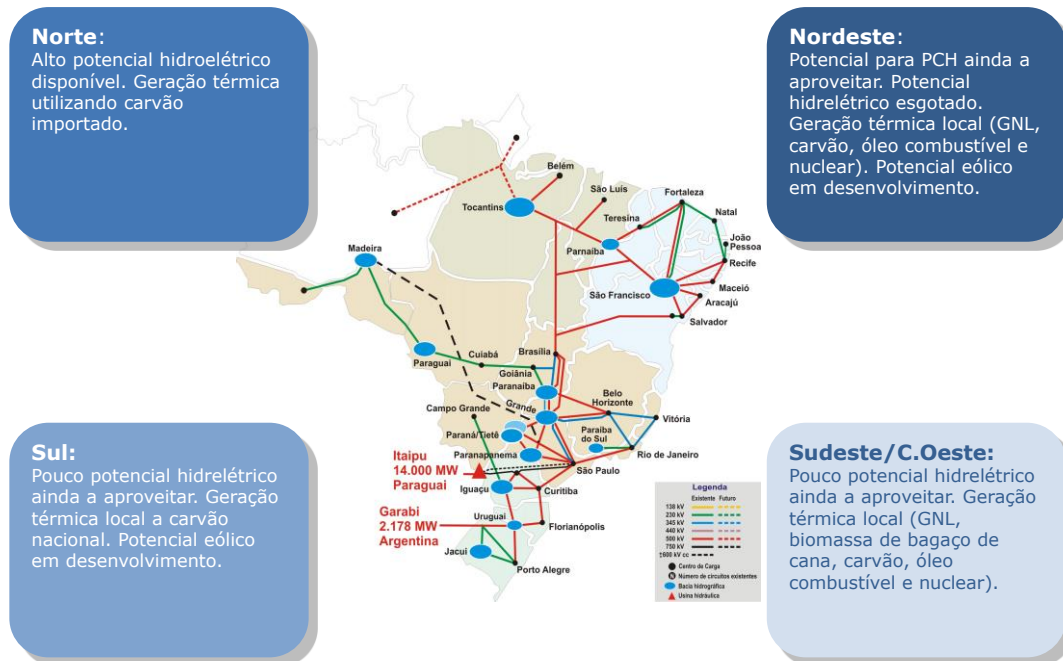


Figura 5.6-Opções de expansão da geração.

A expansão de oferta de energia possui grandes desafios, tais como:

- Hidrelétricas: licenciamento ambiental
- Térmicas a gás: Condições adversas dos contratos de suprimento de gás natural para as termelétricas fornecidos pela Petrobras afastam competidores. Falta uma política de gás natural para o país.
- Renováveis:
  - PCHs: Bons projetos cada vez mais difíceis, dificuldades crescentes no processo de licenciamento ambiental e novas regulamentações MME/ANEEL (revisão de garantia física e expulsão do MRE) afastam investidores;

- Cogeração a partir da biomassa da cana de açúcar: a bioeletricidade deveria ser a fonte mais promissora (“alavanca” o crescimento da produção de etanol), mas até o momento o montante contratado foi abaixo do esperado por dificuldades com a conexão à rede e de preços de energia
- Estes desafios deixaram a energia eólica como fonte renovável com maior capacidade de disputar os leilões em volume e preço significativo, tendo uma grande janela de oportunidade.

Para a construção dos Cenários de Expansão ainda são necessárias informações e premissas relacionadas às opções de expansão da oferta de geração (grandes hidrelétricas, termelétricas convencionais e fontes renováveis de energia), critérios para a escolha das fontes que irão compor a matriz elétrica e aspectos complementares (adequabilidade em relação aos leilões de energia nova, interconexões entre subsistemas, critérios de garantia de suprimento, energia de reserva etc.).

## 5.4 Balanço entre oferta e demanda de eletricidade do SIN

A Figura 5.7 apresenta o balanço físico de oferta e demanda média anual<sup>8</sup> do SIN para o CRef.

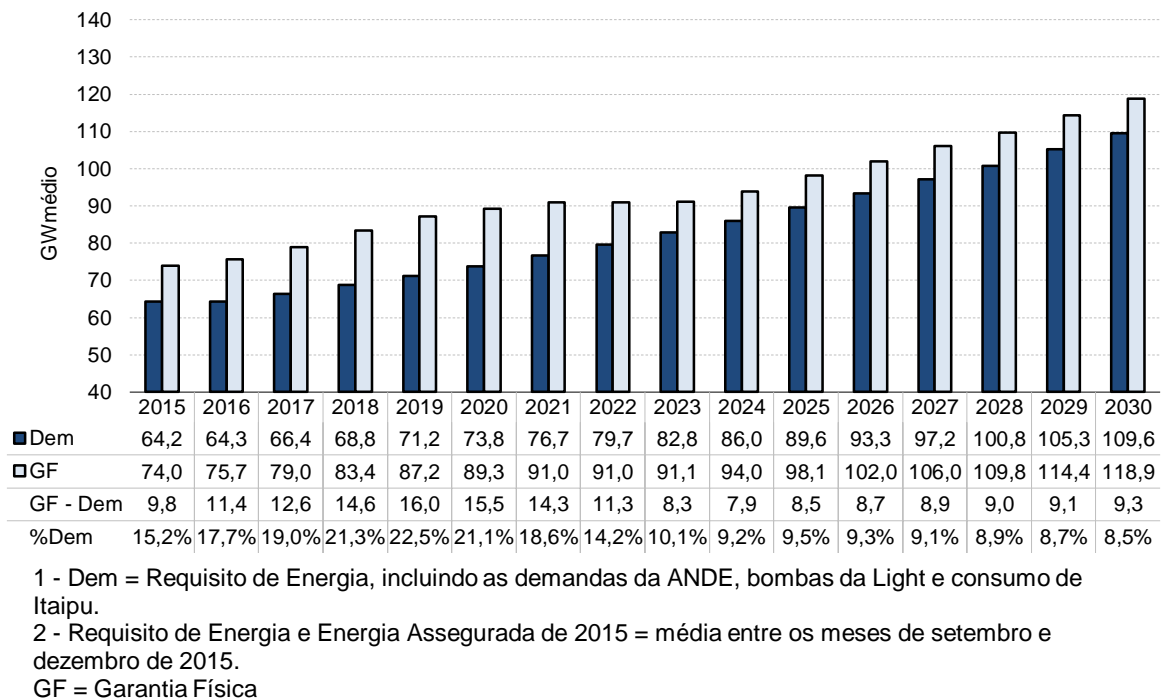


Figura 5.7-Balanço entre oferta e demanda média anual com energia de reserva.

<sup>8</sup> Requisito de energia, incluindo as demandas de ANDE, bombas da LIGHT e consumo de Itaipu.

Verifica-se que a sobre-oferta existente no sistema para o horizonte de curto e médio prazos (até 2019) aumenta, resultado da baixa projeção de crescimento da demanda no horizonte 2016-2019 e ainda a motorização de grandes projetos hidrelétricos já contratados.

No horizonte de mais longo prazo a sobra tende a se manter constante devido à premissa de ajuste do cenário para uma determinada sobre-oferta no horizonte de longo prazo.

A Figura 5.8 apresenta o mesmo balanço da Figura 5.7, discriminando a oferta em:

- Oferta garantida: energia existente e/ou já contratada através dos leilões de energia nova (já inclui Belo Monte);
- Projetos estruturantes: projetos internacionais (UHEs do Peru e UHE de Garabi);
- Oferta indicativa: projetos que indicam a necessidade de contratação de nova oferta;
- Energia de reserva: inclui a energia de Angra III, biomassa e eólica.

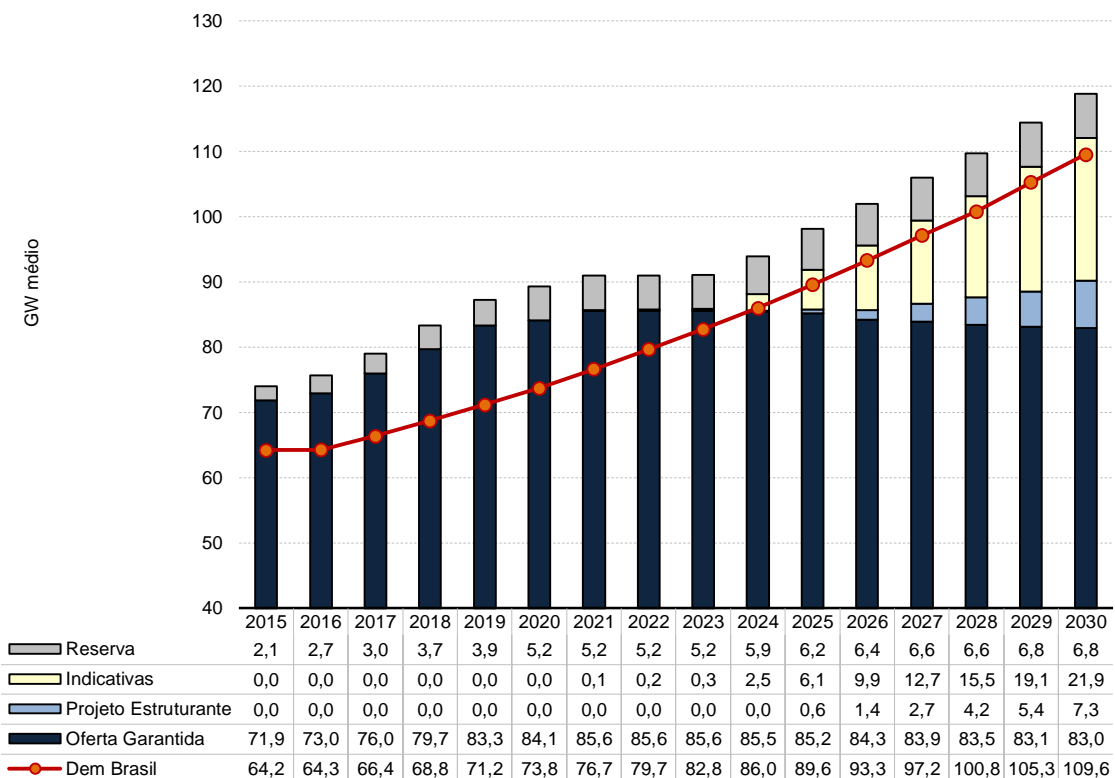


Figura 5.8-Balanço entre oferta e demanda média anual do SIN.

O balanço da Figura 5.8 indica uma necessidade de nova oferta (Indicativas + Projeto Estruturante) a partir de 2024. Em resumo, haveria a necessidade de contratar em torno de 29,2 GW médios de garantia física para atender ao crescimento de demanda até 2030 (desconsiderando Belo Monte, Angra III e os projetos internacionais) em energia nova. Este é, portanto, o espaço de oferta para novos investimentos em projetos de geração.

## 6 BENEFÍCIOS PARA O SETOR ELÉTRICO

### 6.1 Redução de demanda, nova oferta e potência disponível

Para a construção dos Cenários de Expansão Alternativos (C10, C15 e C20), são realizadas duas alterações no Cenários de Expansão de Referência (CRef):

- Projeção de demanda: a partir de novas premissas de EE adotadas para o horizonte 2016-2030, são determinadas três novas projeções de demanda (Figura 6.1);
- Projeção de oferta: para cada nova projeção de demanda é necessário um novo ajuste no Cenário de Expansão para manter a mesma sobre-oferta, no horizonte de longo prazo, observada no CRef (Figura 6.2).

A Figura 6.1 apresenta as projeções de demanda média anual do SIN para os quatro Cenários de Expansão considerados nesse estudo.

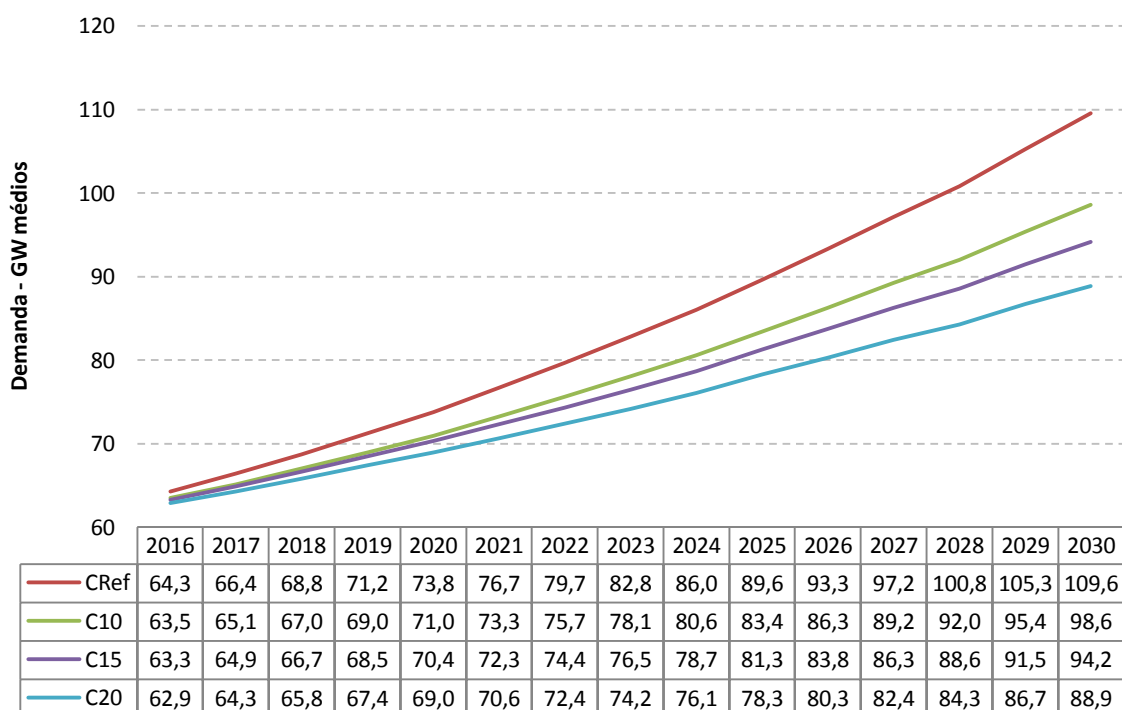


Figura 6.1-Projeção de demanda dos cenários

Por construção, as premissas de aumento da EE considerada nos Cenários de Expansão Alternativos reduzem a demanda média anual de 2030 (com relação ao CRef) em 10%, 15% e 20%.

Conseqüentemente, reduz-se a necessidade de nova oferta no SIN para atender os mesmos critérios de qualidade de suprimento de energia elétrica. Assim ocorre a



postergação de investimentos em projetos de expansão do parque de geração de eletricidade, ou seja, menos usinas (hidrelétricas, termelétricas, eólicas e solar) precisarão ser construídas no futuro. A Figura 6.2 compara redução da necessidade anual de nova oferta (Indicativa + Projeto Estruturante) de cada Cenário Alternativo com relação ao CRef.

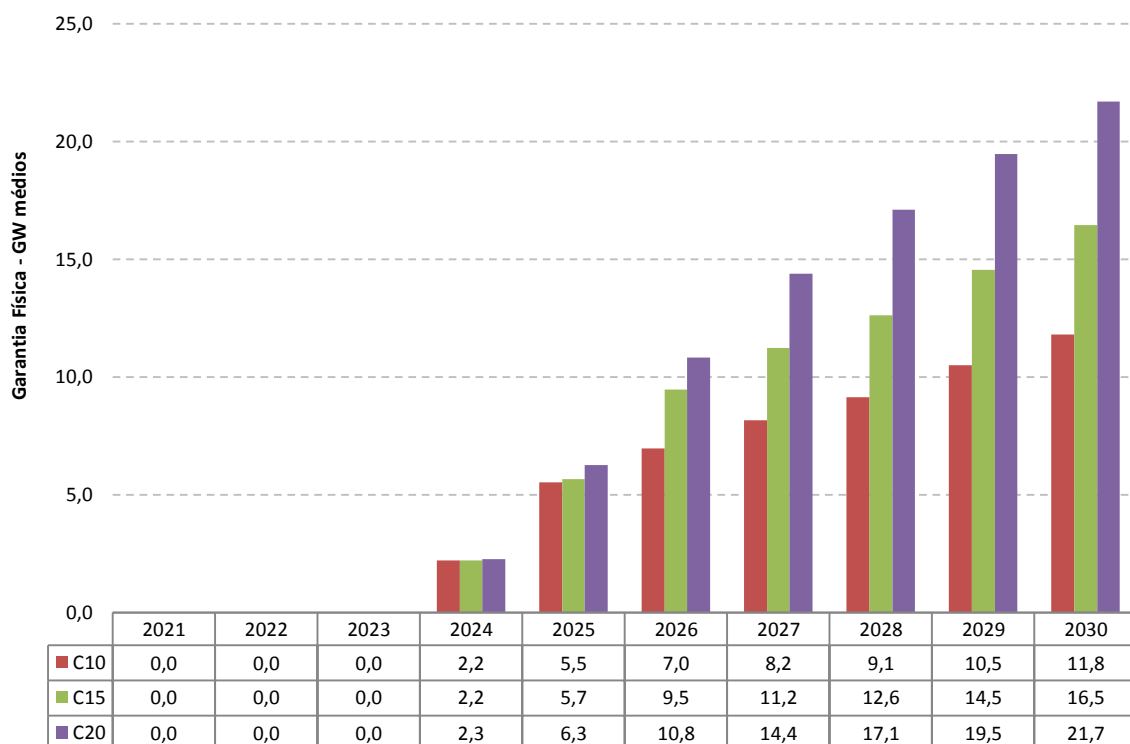


Figura 6.2-Redução da necessidade anual de nova oferta.

Observa-se uma menor necessidade de nova oferta nos Cenários C10 (menos 11,8 GW médios), C15 (menos 16,5 GW médios) e C20 (menos 21,7 GW médios), quando comparados ao CRef, consequência da menor projeção de demanda.

A fim de ilustrar como a decisão operativa mudou nos diferentes cenários, a Figura 6.3 apresenta o delta de redução da potência disponível no final do horizonte (2030). Observa-se que a maior parte da potência que deixou de ser disponibilizada provém das fontes hidrelétrica e solar. Já nos cenários de maior conservação (C15 e C20), nota-se que a fonte nuclear também passa a ter menor disponibilidade.

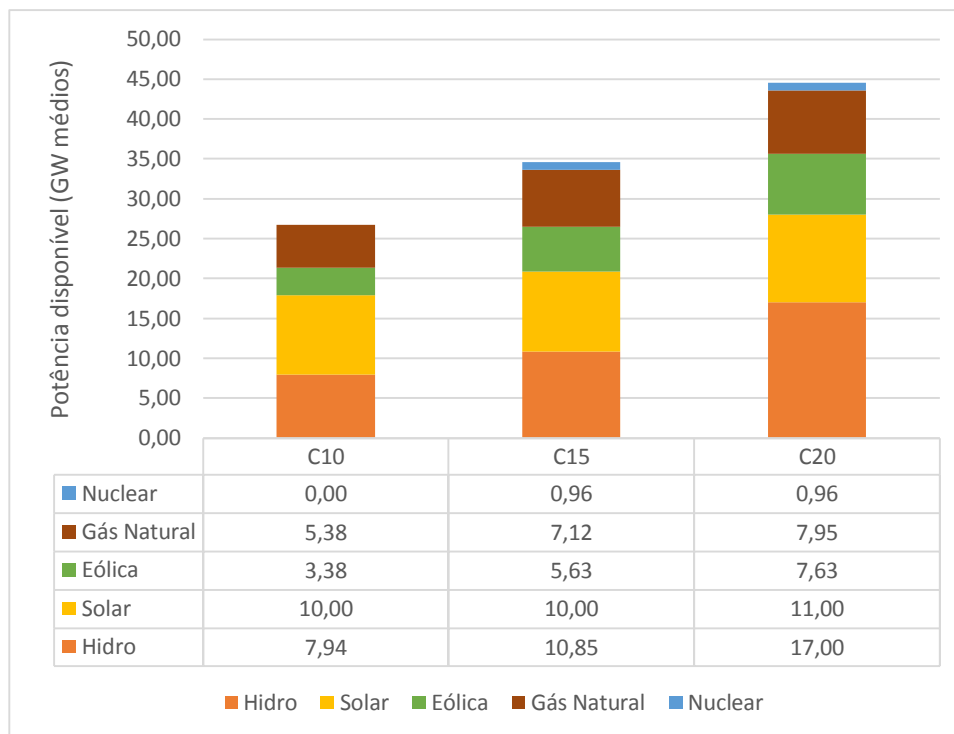


Figura 6.3-Redução de potência disponível por fonte.

## 6.2 Redução de custos operativos e de expansão

Conhecidos os cenários de oferta e demanda, o modelo SDDP calculou uma política operativa ótima para o período 2016-2030 com cinco anos adicionais de configuração estática para evitar esvaziamento ao final do período. Foram utilizados estágios mensais, com três patamares de demanda em cada estágio.

A incerteza na hidrologia foi representada através de um modelo estocástico multivariado de aflúncias (PAR-p) ajustado às vazões incrementais de cada usina hidrelétrica da configuração. As condições iniciais de armazenamento dos reservatórios e de aflúncia se referem ao final de outubro de 2015. As restrições de transmissão entre os submercados foram representadas por um modelo de fluxo em redes.

O modelo SDDP representa em detalhe as características físicas, operativas e comerciais do sistema brasileiro. A simulação do sistema considerou todos os procedimentos operativos utilizados pelo ONS.

A Tabela 6.1 apresenta a redução no custo de operação do SIN para os cenários simulados.

Tabela 6.1 - Redução nos custos de operação do SIN.

Cenário	Custo operativo acumulado (bilhões de R\$)	Redução (bilhões de R\$ e %) em relação ao cenário de referência	
CRef	112		-
C10	85	27	24%
C15	78	34	30%
C20	69	43	38%

Como esperado, observa-se na Tabela 6.1 que os Cenários Alternativos reduzem o custo de operação acumulado médio para o horizonte 2016-2030, chegando a uma redução de 38% (cerca de R\$ 43 bilhões) no Cenário C20, onde a premissa é de que ações de fomento a EE reduzem a demanda projetada para 2030 em 20%.

Para o cálculo do investimento anual em nova oferta (Indicativa + Projeto Estruturante) foram adotadas as seguintes premissas:

- Hidrelétricas serão contratadas em leilões A-5: com isso, os investimentos na construção da usina serão contabilizados durante os cinco anos que antecedem sua entrada em operação (ex: para uma usina que entre em operação em 2025, serão contabilizados os investimentos na sua construção nos anos de 2020 a 2024).
- Termelétricas, eólicas e solar serão contratadas em leilões A-3: com isso, os investimentos na construção da usina serão contabilizados durante os três anos que antecedem sua entrada em operação (ex: para uma usina que entre em operação em 2025, serão contabilizados os investimentos na sua construção nos anos de 2022 a 2024).
- A premissa adotada para o custo de instalação de cada fonte será conforme Tabela 6.2.

Tabela 6.2-Custo de instalação de usinas por fonte de geração.

Fonte	Custo de implantação (R\$/kW instalado)	Garantia Física/Capacidade (valores típicos)
Hidroelétrica	4000	45-70%
Gás Natural	3000	25-75%
Eólica	5000	40-50%
Solar FV	4500	18-22%
Nuclear	13500	80-90%
Carvão importado	4500	70-90%

A Tabela 6.3 apresenta a redução do montante anual de investimentos em nova oferta para cada um dos Cenários Alternativos com relação ao CRef.

Tabela 6.3-Redução nos custos de investimento do SIN.

Cenário	Custo de investimento acumulado (bilhões de R\$)	Redução (bilhões de R\$ e %) em relação ao referencial	
CRef	92	-	-
C10	53	39	42%
C15	42	50	54%
C20	26	66	72%

Conforme esperado, observa-se na Tabela 6.3 que os Cenários Alternativos apresentam uma menor necessidade de investimentos em nova oferta expressiva, quando comparados com o CRef. No Cenário C10 há uma redução de 42% nos investimentos em nova oferta para o horizonte 2016-2030. No Cenário C15 essa redução é de 54%, e no C20 a redução é de 72%.

Naturalmente que em termos absolutos a EE reduz a necessidade de investimentos. Em termos relativos, é importante comparar o custo de implementação do MWh gerado com o economizado. O cálculo dos investimentos necessários para a efetivação de medidas de EE não faz parte do escopo deste trabalho. Entretanto, é possível encontrar na bibliografia valores que subsidiem essa análise. A Figura 6.4 apresenta uma comparação entre o preço de energia nova para diversas fontes, o Custo Marginal de Expansão (CME), e o custo médio de implantação de projetos de EE pela economia de energia (conforme estimativa da ABESCO apresentada em agosto de 2015).

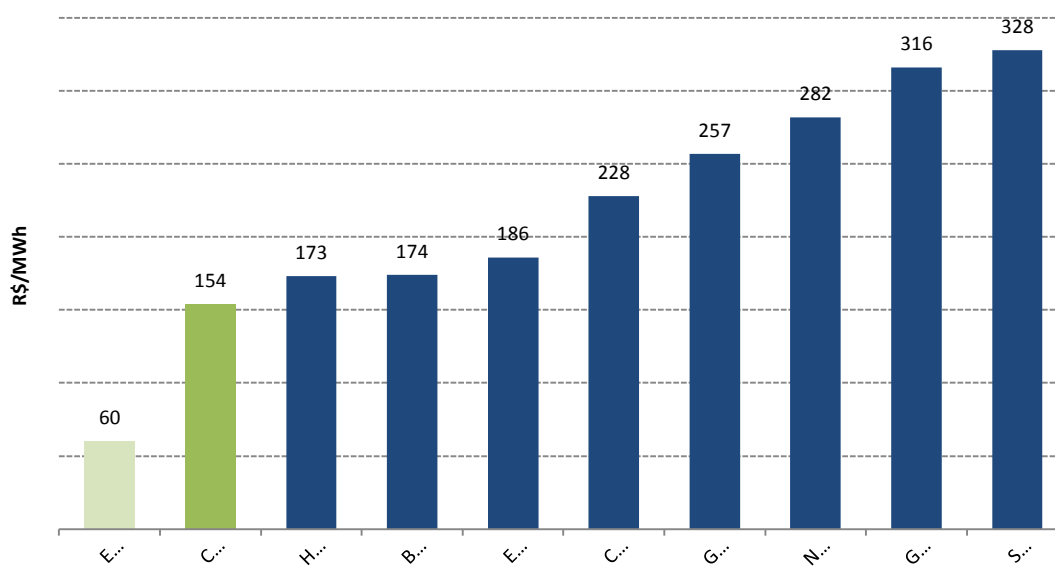
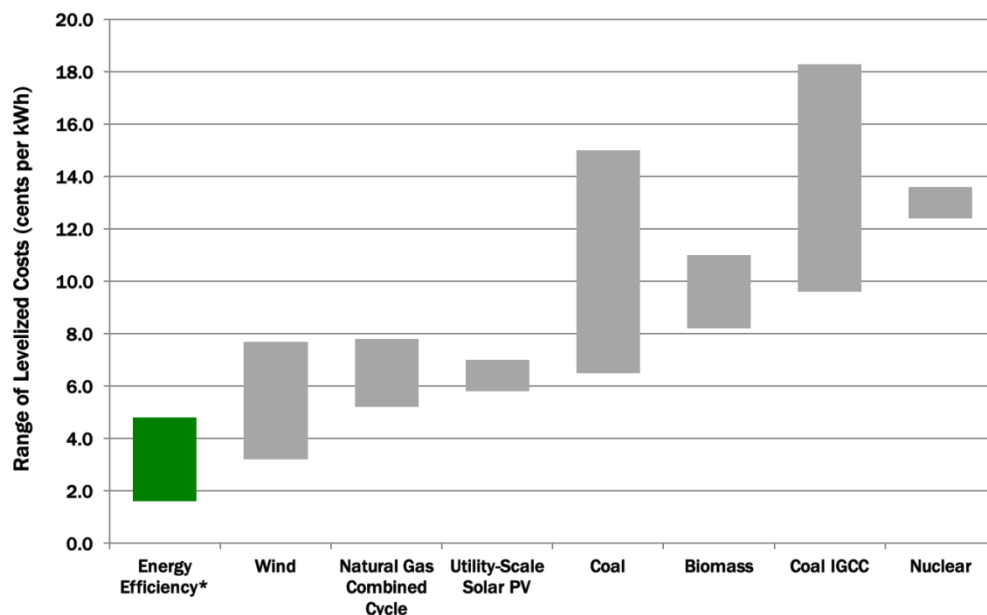


Figura 6.4-Custo de conservação versus custo de produção por fonte.

A Figura 6.4 evidencia que investimentos em projetos de EE são mais econômicos que a construção de usinas para o atendimento da demanda futura de eletricidade. Um estudo recente da ACEEE com relação ao mercado americano (Figura 6.5) chegou à conclusão similar ao mostrar que, em média, os programas de EE das concessionárias custaram 2,8 US\$ centavos por kWh economizado, menos da metade do custo de construção e operação de novas usinas.



\*Notes: Energy efficiency program portfolio data from Molina 2014; All other data from Lazard 2015. High-end range of coal includes 90% carbon capture and compression.

O

Figura 6.5-Custo de conservação *versus* custo de produção.  
Fonte: (ACEEE, 2016)

Dessa forma, tem-se que o benefício da implantação de projetos que contribuam para a redução do consumo de eletricidade deve ser levado em consideração no planejamento da expansão do parque gerador.

### 6.3 Redução das tarifas de energia

Em 2015 o setor de distribuição arrecadava na ordem de R\$ 100 bilhões dos consumidores de energia. Para cada 1 bilhão de variação nos custos operativos do SIN, estima-se um impacto médio correspondente a 1% na tarifa. Com o crescimento esperado do mercado até 2030 (70% de incremento, conforme Figura 5.4), o aumento da EE geraria um benefício direto para a sociedade ao reduzir as tarifas entre 16% a 25%, conforme Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Redução tarifária devida à EE.

Cenário	Custo operativo acumulado (R\$ bilhões)	Redução tarifária (%)
CRef	112	-
C10	85	16%
C15	78	20%
C20	69	25%

A redução tarifária devida ao aumento de EE representa um ganho direto para os consumidores, mas também indireto para o país. Isso porque a redução das tarifas para a indústria tem potencial de aumentar a competitividade industrial brasileira, impulsionando o setor secundário e, conseqüentemente, o aumento do PIB e a geração de empregos.

#### 6.4 Redução de emissões de GEE

O objetivo dessa seção é apresentar o impacto nas emissões de CO<sub>2</sub> do Brasil considerando os resultados obtidos através da simulação dos Cenários de Expansão elaborados nesse estudo. As emissões se referem às usinas já existentes e às novas que serão incorporadas ao parque gerador em cada cenário.

O cálculo das emissões de GEE do SIN é feito considerando o produto entre a produção de energia de cada usina (MWh) por seu fator de emissão individual ( Kg CO<sub>2</sub>/MWh), como a seguir:

- Seja  $g(j,t,s,k)$  a produção da usina  $j$ , no mês  $t$ , cenário hidrológico  $s$  e patamar de carga  $k$  (MWh).
- As emissões individuais da usina são  $g(j,t,s,k) \times \phi(j)$ , onde  $\phi(j)$  é o fator de emissão unitário da usina, em KgCO<sub>2</sub>/MWh.
- O total de emissões num ano  $y$ , em cada cenário  $s$  é:

$$E(y,s) = \sum_j \sum_{t \in y} \sum_k \phi(j) \cdot g(j,t,s,k)$$

Duas abordagens foram empregadas no presente estudo para avaliar as emissões de GEE. A abordagem usual, que é a utilizada nos estudos de inventário realizados segundo os moldes do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), apenas considera as emissões advindas da fase de operação das usinas. Já a abordagem de ciclo de vida, menos comum, porém mais abrangente, leva em conta as emissões relacionadas ao ciclo de vida do combustível, desde a extração da matéria prima até o destino final.

### 6.4.1 Abordagem usual

A Tabela 6.5 apresenta os fatores de emissão utilizados na abordagem usual, que foram adaptados dos dados do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Para algumas fontes, há variação nos fatores de acordo com especificidades técnicas, como o consumo específico dependendo se a operação se dá em ciclo aberto ou combinado. Para fontes renováveis e nuclear, o fator é considerado nulo.

Tabela 6.5 – Fatores de emissão – abordagem usual.

Tecnologia de geração	Fator de emissão (Kg de CO <sub>2</sub> eq/MWh)
Hidroeletricidade	0
Eólica	0
Nuclear	0
Termo - CM	890 a 1106
Termo - GN	450 a 600
Termo - OC	646
Termo - OD	651

A Tabela 6.6 apresenta os resultados de emissões de CO<sub>2</sub> para os cenários simulados.

Tabela 6.6 - Redução nas emissões de CO<sub>2</sub> - abordagem usual.

Cenário	Emissão de CO <sub>2</sub> acumulada (MtCO <sub>2</sub> )	Redução em relação ao cenário de referência
CRef	291	-
C10	262	10 %
C15	239	18%
C20	225	23%

Observa-se da Tabela 6.6 que no Cenário C10 há uma redução de 10% nas emissões acumuladas para o horizonte 2016-2030. No Cenário C15 essa redução é de 18%, e no C20 a redução é de 23%.

### 6.4.2 Abordagem de ciclo de vida

Tendo em vista que a abordagem usual é uma simplificação, que considera apenas uma fase do ciclo de geração, optou-se por analisar os resultados dos Cenários de Expansão sob um ponto de vista mais amplo, capaz de levar em conta os impactos das emissões nas demais etapas do ciclo que viabiliza a geração de energia elétrica. A Figura 6.6 apresenta as fases do ciclo de vida das usinas de geração.

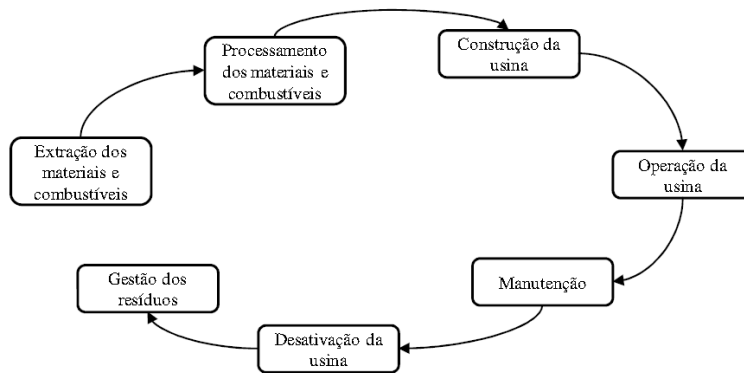


Figura 6.6-Ciclo de vida de uma usina geradora. Fonte: MIRANDA (2012)

Em geral, as emissões de GEE das usinas geradoras de eletricidade movidas a combustíveis fósseis, estão mais relacionadas com a fase de operação da usina. Já naquelas que utilizam combustíveis renováveis e não fósseis, a maioria das emissões estão nas fases *upstream* (processamento de materiais e combustíveis, transporte etc) e *downstream* (desativação da usina e gestão de resíduos) (MIRANDA, 2012).

Uma Análise de Ciclo de Vida (ACV) é um estudo complexo que demanda significativa quantidade de dados, muitas vezes não disponíveis em países em desenvolvimento como o Brasil. A representatividade dos resultados de uma ACV é muito particular e está intimamente relacionada com as características do sistema modelado e os objetivos previamente estabelecidos para o estudo.

De modo a incluir a maior variabilidade possível de metodologias de ACVs voltadas para empreendimentos de geração, adotou-se como base para esse trabalho os fatores de emissão advindos da extensiva meta-análise realizada por MIRANDA (2012) em sua dissertação de mestrado.

A meta-análise é um método estatístico utilizado para combinar resultados quantitativos de diversos estudos relacionados a determinado assunto, fornecendo um resumo das evidências, mostrando as tendências centrais, variações e possíveis razões para as diferenças entre os estudos.

Sendo assim, a Tabela 6.7 apresenta os fatores de emissão que foram alterados com relação à abordagem usual.



Tabela 6.7-Fatores de emissão - abordagem de ciclo de vida.

Tecnologia de geração	Fator de emissão (Kg de CO <sub>2</sub> eq/MWh)
Hidroeletricidade	86
Eólica	16
Nuclear	14
Termo - CM	1144
Termo - GN	518
Termo - OC	781
Termo - OD	829

Fonte: MIRANDA (2012)

A Tabela 6.8 apresenta os resultados de emissões de CO<sub>2</sub> para os cenários simulados.

Tabela 6.8 - Redução nas emissões de CO<sub>2</sub> - abordagem de ciclo de vida.

Cenário	Emissão de CO <sub>2</sub> acumulada (MtCO <sub>2</sub> )	Redução em relação ao cenário de referência
CRef	1242	-
C10	1113	10%
C15	1061	15%
C20	1007	19%

Observa-se da Tabela 6.8 que no Cenário C10 há uma redução de 10% nas emissões acumuladas para o horizonte 2016-2030. No Cenário C15 essa redução é de 15%, e no C20 a redução é de 19%.

### 6.4.3 Comparação entre abordagens

A fim de comparar os resultados das duas abordagens acima, é válido avaliar o total de emissões acumuladas e os deltas de emissão com relação ao CRef em cada abordagem.

As emissões acumuladas são, em média, 339% maior na abordagem de ciclo de vida do que na usual. Isso já era de se esperar, pois a hidroeletricidade, principal fonte da matriz energética brasileira, passa a contar com um fator de emissão não nulo (principalmente devido às emissões de GEE causadas pela vegetação submersa nos reservatórios). Ainda que esse valor não seja alto em comparação com os das termelétricas, a participação das hidrelétricas no despacho é cerca de 70%, o que torna essa fonte a principal responsável por tamanha mudança no total de emissões.

Com relação à variação das emissões dos cenários com relação ao CRef, na abordagem usual é possível identificar reduções ligeiramente maiores que na abordagem de ciclo de vida. Percebe-se ainda que, no cenário C10, a redução é igual nas duas abordagens, mas os valores vão se “desacoplando” conforme a premissa de EE aumenta: diferença percentual de 3 pontos no C15 e 4 pontos no C20.

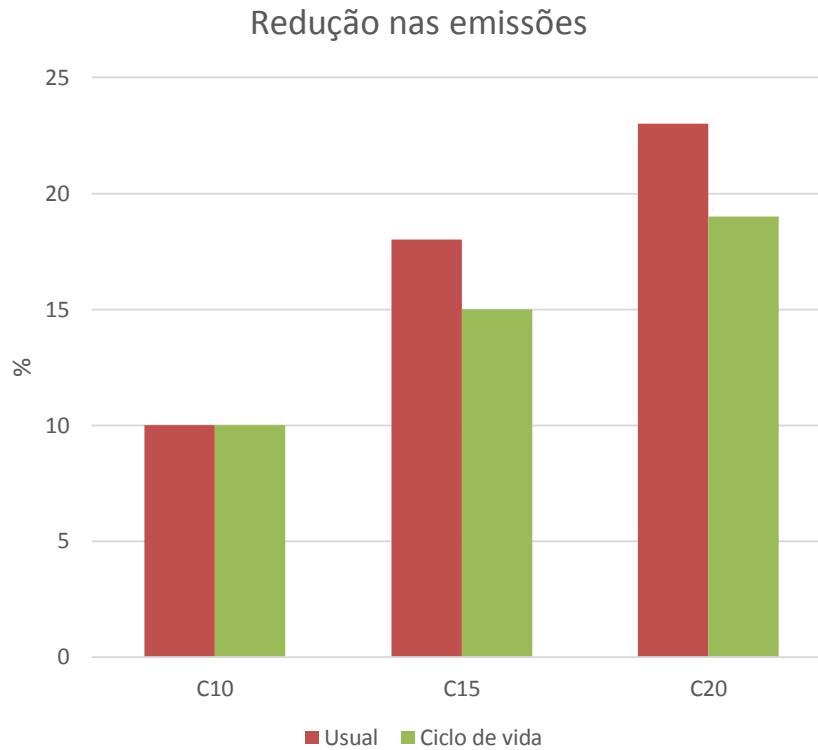


Figura 6.7-Comparação da redução nas emissões

A menor sensibilidade das emissões com relação à premissa de EE na abordagem de ciclo de vida também pode ser explicada pela adoção de fator de emissão não nulo para as hidrelétricas. Isso porque a modulação de carga se dá principalmente pelas hidrelétricas, não havendo muita variação das demais fontes nos cenários.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Eficiência Energética (EE) é o conjunto de medidas que reduzem a quantidade de energia utilizada para prover produtos e serviços. O presente estudo apresenta um panorama da eficiência energética elétrica no Brasil e analisa os benefícios para o SIN gerados pela implementação de três diferentes metas de conservação de energia para o horizonte 2030.

Há 130 anos, o economista William Jevons já anunciava que vivemos o paradoxo de consumir cada vez mais energia, apesar de a eficiência dos equipamentos aumentar progressivamente. Ainda que essa afirmação seja verdadeira, a EE deve ser perseguida por induzir o desenvolvimento econômico e bem-estar social.

Bons exemplos podem ser observados em países como EUA e os da União Europeia, que mesmo já tendo investido muito nesse setor ao longo dos anos, ainda possuem metas ambiciosas de avanço. Esses países se baseiam em consistentes bases de dados e sistemas de benchmark para induzir o aumento de EE. Também vale destacar a importância dada às auditorias energéticas, o alto grau de informação dos consumidores e o foco no potencial de conservação das edificações.

O panorama brasileiro mostra que nosso setor elétrico é bem estruturado, porém conta com planos e programas de EE que estão aquém do que poderiam promover para o país. Dentre as barreiras identificadas no presente estudo, as principais são: desinformação por parte dos consumidores; desinteresse na realização de ações por falta de estímulos adequados; cultura de priorização da expansão ao invés da conservação; e inadequação das linhas de financiamento. Algumas alternativas que se mostram promissoras para o contexto brasileiro são: incentivo ao uso de motores elétricos mais eficientes; fomento ao mercado das lâmpadas LED; desenvolvimento de redes de EE; e regulamentação da Tarifa Branca.

Para a simulação da operação do SIN, foi utilizado o modelo computacional SDDP, que otimizou o despacho hidrotérmico através da Programação Dinâmica Dual Estocástica. Quatro cenários foram simulados: CRef (sem acréscimo de eficiência, nem mesmo tendencial); C10 (10% de energia conservada); C15 (15% de energia conservada); e C20 (20% de energia conservada).

A análise dos benefícios para o SIN dos cenários simulados mostra que a redução de demanda em 2030 de 10%, 15% e 20% (premissa), levou à redução da necessidade de nova oferta de 12 GW médios no C10 até 17 GW médios no C20. Além dos impactos em

custos, tarifas e emissões, reduz-se também os impactos socioambientais das atividades de geração.

A redução dos custos operativos varia entre 24% no C10 até 38% no C20. Já a redução dos investimentos em nova oferta é ainda mais significativa, indo de 42 a 72% nos respectivos cenários. Ou seja, a redução de custos acumulados de operação e expansão pode chegar a 109 bilhões de reais, caso o governo brasileiro opte por dobrar a meta de EE da iNDC, que é 10%.

Outro benefício direto para a sociedade é a redução tarifária, que estima-se variar entre 16% no C10 e 25% no C20. Atrelado a isso está um benefício indireto, pois a redução das tarifas industriais pode levar a um aumento da competitividade brasileira no cenário internacional, favorecendo o crescimento do PIB e a geração de empregos. O desenvolvimento da EE é, portanto, uma forma de iniciar esse ciclo positivo.

Com relação às emissões, duas abordagens foram utilizadas. A usual, que considera apenas a fase de operação das usinas no cálculo de seus fatores de emissão e a de ciclo de vida, que leva em conta as emissões desde a extração do combustível até o destino final do mesmo ou a desativação da usina. Na abordagem usual, a redução das emissões é de 10% do C10 e 23% no C20. Já na abordagem de ciclo de vida, a redução varia entre 10% e 19% nos respectivos cenários. Essas reduções são menos expressivas que as de custos, mas ainda bastante significativas. Para a meta de 20% de aumento de EE, as emissões caem 66 MtCO<sub>2</sub> na abordagem usual e 235 MtCO<sub>2</sub> na de ciclo de vida. A diferença de ordem de grandeza entre as abordagens se deve principalmente à mudança do fator de emissão para a fonte hidrelétrica.

Sendo assim, conclui-se que o aumento da EE no Brasil pode trazer expressivos benefícios econômicos e ambientais para o SIN e seus consumidores. Porém, para que tais benefícios se tornem reais, o governo precisa aprimorar a implementação de seus planos e programas, articulando os diversos agentes econômicos, de modo a superar as barreiras atuais.

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros, recomenda-se o estudo de políticas, mecanismos e tecnologias capazes de promover a EE nas diferentes classes de consumo e nos diferentes segmentos do setor elétrico. O desenvolvimento de um banco de dados que permita o cálculo mais preciso do custo nivelado das medidas de EE seria também seria uma grande contribuição para a literatura do tema. Além disso, sugere-se que fatores de emissão provenientes de ACVs sejam mais explorados nos estudos de planejamento energético.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASIL. **Selo Procel chega às lâmpadas LED**. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-12/selo-procel-de-eficiencia-energ-etica-chega-lampadas-led>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Tarifa Branca**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=781>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

\_\_\_\_\_, 2008, **Resolução Normativa 300 de 12 de fevereiro de 2008**.

\_\_\_\_\_, 2012, **Resolução Normativa Nº 414/2010**.

\_\_\_\_\_. **Relação de Projetos de Eficiência Energética**. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/arquivos/Excel/PEE\\_Projetos.xls](http://www.aneel.gov.br/arquivos/Excel/PEE_Projetos.xls)>. Acesso em: 4 dez. 2015.

AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY-EFFICIENT ECONOMY - ACEEE. **The 2014 International Energy Efficiency Scorecard**. Disponível em: <<http://aceee.org/research-report/u1408>>. Acesso em: 10 out. 2015.

\_\_\_\_\_. **Energy Efficiency as a Resource**. Disponível em: <<http://aceee.org/topics/energy-efficiency-resource>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO - ABILUX. **Diretor da Abilux explica como mesmo sem chip local, a indústria de LED cresce com a crise energética**. Disponível em: <<http://www.abilux.com.br/portal/abilux-na-midia/6/diretor-da-abilux-explica-como-mesmo-sem-chip-local-a-industria-de-led-cresce-com-a-crise-energetica>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - ABESCO. **Quem Somos**. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/quem-somos/>>. Acesso em: 10 out. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA - ABRADEE. **Entenda a Indústria de Energia Elétrica**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS - ABRAMAN, [s.l: s.n.], **A situação da manutenção no Brasil**, 2013. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/403/403.pdf>>

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CONSUMIDORES DE ENERGIA - ANACE. **O que são submercados?** Disponível em: <<http://www.anacebrasil.org.br/portal/index.php/faqs/1-energia-eletrica/29-o-que-sao-submercados>>. Acesso em: 7 fev. 2016.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº 1.007 de 2010**, 2010. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/legislacao/portaria\\_interministerial/Portaria\\_MME-MCT-MDIC\\_n\\_1.007-2010.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/legislacao/portaria_interministerial/Portaria_MME-MCT-MDIC_n_1.007-2010.pdf)>

\_\_\_\_\_, 2015a, **Lei nº 13.203 Diário Oficial da União**.

\_\_\_\_\_, 2015b, **Aviso de Chamada Pública No- 2/2015. Diário Oficial da União**, n. 207.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. **Setor elétrico**. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/setor\\_eletrico?\\_afLoop=855486732788484#%40%3F\\_afLoop%3D855486732788484%26\\_adf.ctrl-state%3DI2tzurp0v\\_4](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_afLoop=855486732788484#%40%3F_afLoop%3D855486732788484%26_adf.ctrl-state%3DI2tzurp0v_4)>. Acesso em: 7 fev. 2016.

CASTRO, N. J. DE et al. , 2011, **Eficiência Energética na Iluminação pública e o Plano Nacional de Eficiência Energética**.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2010, **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: Informações Estratégicas.**

**Com proposta mais ambiciosa, Brasil chega à COP21 como importante negociador do clima — Portal Brasil.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/11/com-proposta-mais-ambiciosa-Brasil-chega-a-COP21-como-importante-negociador-mundial-do-clima>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

ELETROBRAS. **Relatório de Sustentabilidade**, 2010. Disponível em: <[http://www.elektrobras.com/relatorio\\_sustentabilidade\\_2010/html\\_pt/contexto.html](http://www.elektrobras.com/relatorio_sustentabilidade_2010/html_pt/contexto.html)>. Acesso em: 15 fev. 2016

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, , 2007, **Plano Nacional de Energia 2030.**

\_\_\_\_\_, 2015, Anuário Estatístico de Energia Elétrica. v. 1.

EUROPEAN PARLIAMENT, 2009, Directive 2009/125/EC “ establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (recast)”. **Official Journal of the European Union**, p. 10–35.

\_\_\_\_\_, 2012, Directive 2012/27/EU **Official Journal of the European Union Directive.**

FERREIRA, J. Z, 2014, **Estudo Comparativo Entre Lâmpadas Fluorescentes Tubulares T8 e Tubulares de LED.** UTFPR.

FRAUNHOFER INSTITUTE, 2012, **Energy Efficiency Policies and Measures in German, ODYSSEE-MURE 2010, Monitoring of EU and national energy efficiency targets.**

\_\_\_\_\_, 2015, **How energy efficiency cuts costs for a 2-degree future.**

GODOI, M, 2015, Eficiência energética terá comitê para alcançar metas do PNEF. **Agência Canal Energia.**

INMETRO. **PBE: Programa Brasileiro de Etiquetagem.** Disponível em: <[http://www2.inmetro.gov.br/pbe/a\\_etiqueta.php](http://www2.inmetro.gov.br/pbe/a_etiqueta.php)>. Acesso em: 10 out. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - INEE. **O que é Eficiência Energética.** Disponível em: <[http://www.inee.org.br/eficiencia\\_o\\_que\\_eh.asp?Cat=eficiencia](http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia)>. Acesso em: 10 out. 2015a.

\_\_\_\_\_. **Sobre ESCOS - Empresas de Serviços de Conservação de Energia.** Disponível em: <[http://www.inee.org.br/escos\\_sobre.asp?Cat=escos](http://www.inee.org.br/escos_sobre.asp?Cat=escos)>. Acesso em: 10 out. 2015b.

KELMAN, R., 2015, Eficiência Energética: potencial x realidade. **Brasil Energia**, p. 1–3,.

LEARNING ENERGY EFFICIENCY NETWORKS - LEEN. **LEEN GmbH | Lernende Energieeffizienz-Netzwerke: LEEN System.** Disponível em: <<http://leen.de/en/leen-netzwerke/>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME, 2011, **Plano Nacional de Eficiência Energética.**

\_\_\_\_\_, 2014a, **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024.**

\_\_\_\_\_, 2014b, **Relatório de Atividades do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE.**

- MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2014, **Instrução Normativa de Eficiência Energética IN SLTI-MP Nº 02-2014**. Disponível em: <<http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes-2014/instrucao-normativa-de-eficiencia-energetica-no-02-2014.pdf>>
- MIRANDA, M. M. , 2012, **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil : implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. [s.l.] USP.
- ODYSSEE-MURE. **Energy Efficiency Trends & Policies**. Disponível em: <<http://www.odyssee-mure.eu/>>. Acesso em: 11 abr. 2016.
- ONU BRASIL - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ODS7 |Energias Renováveis**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>>. Acesso em: 8 fev. 2016.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **O que é o SIN - Sistema Interligado Nacional**. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/o\\_que\\_e\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx)>. Acesso em: 7 fev. 2016.
- PROCEL INFO. **Procel Info**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 18 out. 2015.
- \_\_\_\_\_. **Regulamentação da tarifa branca traria redução de até 13% na conta de energia do consumidor residencial**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7BF5EAADD6%2DCCB0%2D4E29%2DA0C4%2D482D3D66BB65%7D&params=itemID=%7B80A7B>>. Acesso em: 19 jan. 2016.
- REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 2015, Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada. **Unfccc**, v. 9.
- SEEG E OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2014, Análise das Emissões de GEE no Brasil ( 1990 - 2012 ) -Setor Energia. p. 1–22.
- SISTEMA FIRJAN. **Ranking dos Países: Quanto Custa a Energia Elétrica no Mundo?** Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/quantocustaenergia/comparacoes/confira-os-rankings/paises/ranking-paises-quanto-custa-a-energia-eletrica-para-a-industria-no-brasil-sistema-firjan.htm>>. Acesso em: 8 fev. 2016.
- \_\_\_\_\_, 2014, **Perspectivas do custo da energia elétrica para a indústria no Brasil em 2014 e 2015**.
- \_\_\_\_\_. **Quanto custa?** Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/quantocustaenergia/>>. Acesso em: 10 out. 2015.
- SOUZA, R. C. et al., 2013, Pesquisa Mercadológica sobre Motores Recondicionados.
- VALOR ECONÔMICO, 2015, Crise acelera projetos de eficiência energética. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/3951446/crise-acelera-projetos-de-eficiencia-energetica>> Acesso em: 08 fev. 2016
- VIANA, A. N. C. et al. , 2012, **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. 1ª. ed. Campinas, SP: PEE-Programa de Eficiência Energética ANEEL.