



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



CB3E

centro brasileiro de eficiência
energética em edificações

cb3e.ufsc.br

Estado da arte em eficiência energética: sistemas de condicionamento de ar

**João Lorenzo Novaes Pessoa
Enedir Ghisi**

Florianópolis, fevereiro de 2015



RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar o estado da arte em eficiência energética de sistemas de condicionamento de ar. Para isto são apresentados os estudos recentes feitos pelo CLASP (*Collaborative Labeling & Appliance Standards Program*), que faz o levantamento das eficiências energéticas encontradas em sistemas de condicionamento de ar em diferentes economias e discute as possibilidades tecnológicas disponíveis e a relação entre custo e benefício para a comercialização de produtos mais eficientes. A seguir, estas possibilidades são comparadas aos planos de gestão de energia brasileiros elaborados pelos Ministérios de Minas e Energia e Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. São apresentadas as iniciativas governamentais do Brasil para estimular a melhoria da eficiência energética em sistemas de condicionamento de ar, como os níveis mínimos de eficiência energética e a etiquetagem. Compara-se o nível de restrição destas iniciativas com os potenciais apresentados pelo CLASP. São feitas considerações sobre a harmonização das unidades de medida e procedimentos de medição a nível global.

Conclui-se que o Brasil se beneficiaria de níveis mínimos de eficiência energética mais restritivos para sistemas de condicionamento de ar, pois o conhecimento da indústria sobre a tecnologia permitiria isto. O custo de implementação de sistemas mais eficientes seria mais vantajoso, tanto para o Estado quanto para o consumidor final, do que o custo da energia em excesso usada por produtos ineficientes. Além disso, o consumo de energia elétrica com sistemas de condicionamento de ar é expressivo, o que justifica que atenção seja dada a este problema. Estima-se que, em 2013, o consumo de energia elétrica com sistemas de condicionamento de ar no Brasil foi de 84 TWh, ou aproximadamente 12,6% do consumo total de energia elétrica no país (BRASIL, 2014; ELETROBRÁS, 2007). Nos próximos anos, este consumo tende a aumentar, devido ao crescimento contínuo das vendas destes produtos no país (SHAN et al., 2013).

A dificuldade em se comercializar sistemas de condicionamento de ar mais eficientes não é tecnológica, mas sim tornar estes produtos competitivos no mercado desde a fabricação até a compra pelo consumidor final. Os estudos abordados neste trabalho indicam que o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética é o mecanismo de controle mais eficaz da eficiência energética de sistemas de condicionamento de ar. Outros mecanismos complementam os níveis mínimos obrigatórios, como a etiquetagem e programas de subsídio. O modelo mais comum de sistema de condicionamento de ar no Brasil é o modelo *split*, bem como em outros países (ELETROBRÁS, 2007; ECONOLER et al., 2011). O índice mínimo de eficiência energética para este modelo no Brasil é de 2,6 W/W, que só passou a ser exigido para comercialização no varejo a partir de janeiro de 2015. A próxima revisão dos índices mínimos está prevista para janeiro de 2016 e a partir disto, a cada quatro anos (BRASIL, 2011b). Pode-se dizer que o plano de metas é pouco restritivo. A média de sistemas de condicionamento de ar avaliados pelo INMETRO no Brasil é de 2,86 W/W (INMETRO, 2014). Shan et al. (2013) estimam que a relação entre custo benefício se mantém positiva para o consumidor final, no Brasil, se sistemas de condicionamento de ar tiverem o índice de eficiência energética de até 5,67 W/W. Isto significa que o custo da energia economizada ao final da vida útil do produto seria igual ao diferencial de custo pago pelo produto mais eficiente. No entanto, sistemas de condicionamento de ar do tipo *split* precisam ter, atualmente no Brasil, eficiência de apenas 3,2 W/W para serem classificados na faixa A pelo INMETRO, o que significa que eficiências maiores estão muito distantes de ser estimuladas.



Shan et al. (2013) estimam que seria possível conservar aproximadamente 18 TWh de energia por ano, caso todos os sistemas em uso no país fossem substituídos por produtos mais eficientes até 2020. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 (BRASIL, 2012) não faz estimativas específicas para a conservação de energia possível para sistemas de condicionamento de ar isoladamente. No entanto, estima que, em todo o setor residencial brasileiro, 17,5 TWh de energia elétrica possam ser poupados. No setor comercial este valor é de 5,8 TWh. Porém, para a estimativa do Plano Decenal de Expansão de Energia 2021, esta redução no consumo é, em sua maior parte, devido à substituição de lâmpadas incandescentes e pouco influenciada pelo melhoramento do desempenho de sistemas de condicionamento de ar. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 (BRASIL, 2012) estima que a eficiência do estoque de sistemas de condicionamento de ar em uso no país aumentará 0,5% ao ano até 2021. Shan et al. (2013) estimam que até 30% de redução no consumo energético de novos produtos poderia ser alcançado dentro do potencial de mercado, com tecnologia já dominada pela indústria. A diferença entre estas estimativas é devida à dificuldade de se inserir produtos mais eficientes no estoque, já que não existem estímulos suficientes para alimentar a cadeia da fabricação ao consumo destes produtos. Por isto, recomenda-se que o índice mínimo de eficiência energética seja aumentado progressivamente através de um programa de metas mais restritivo que o atual, como pode ser observado em outros países.

Em nível global, recomenda-se a normatização das unidades de medida e dos procedimentos de medição. Desta forma seria possível comparar com maior precisão o desempenho energético de sistemas de condicionamento em diferentes locais do mundo e estabelecer programas de estímulo transnacionais, o que beneficiaria tanto os países fabricantes quanto os importadores. A unidade de medida de eficiência energética utilizada no Brasil e na maior parte do mundo atualmente é o *energy efficiency ratio* (EER), que mede a eficiência do sistema operando com sua capacidade total (ECONOLER et al., 2011). O *seasonal energy efficiency ratio* (SEER) é uma forma de medição que representa melhor a realidade, pois os sistemas de condicionamento de ar operam com capacidade parcial durante o ano. Verifica-se que normalmente os procedimentos adotados nos testes para medição do desempenho energético de sistemas de condicionamento de ar são baseados em normas internacionais, a ISO 5151 e a ISO 13253. Estes procedimentos têm variações entre diferentes países, o que torna difícil a comparação dos índices de eficiência energética. Os testes mais utilizados para a medição do EER são o de entalpia do ar interno do ambiente e o de calorímetro. Recomenda-se que seja dada preferência ao segundo teste, devido a sua maior precisão, o que já é adotado pelo INMETRO (ECONOLER et al., 2011; BRASIL, 2011d).



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de eletricidade no Brasil em TWh e em porcentagem, por setor, ano de 2013.	11
Figura 2. Uso final de energia no setor residencial brasileiro.	12
Figura 3. Vendas de sistemas de condicionamento de ar atuais e projetadas.	13
Figura 4. Eficiência energética dos sistemas de condicionamento de ar mais e menos eficientes encontrados no mercado, por país, em W/W.	15
Figura 5. Coeficiente de eficiência energética dos sistemas de condicionamento de ar comercializados no Brasil.	16
Figura 6. Comparação entre índices mínimos de eficiência energética de cada país, em W/W, quando convertidos para o SEER (<i>seasonal energy efficiency rating</i>), para sistemas de condicionamento de ar do tipo <i>split</i> de velocidade fixa e sem dutos.	19



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição dos sistemas de condicionamento de ar avaliados pelo INMETRO nas respectivas faixas de eficiência energética.	17
Tabela 2. Níveis mínimos do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo janela.	20
Tabela 3. Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo janela, válidos a partir de 16 de agosto de 2013.	21
Tabela 4. Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo <i>split</i> , válidos a partir de 16 de agosto de 2013.	21
Tabela 5. Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo janela, válidos a partir de 16 de agosto de 2014.	21
Tabela 6. Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo <i>split</i> , válidos a partir de 16 de agosto de 2014.	22
Tabela 7. Melhoramentos possíveis para sistemas de condicionamento de ar e suas respectivas reduções no consumo de energia.	25



SUMÁRIO

1. Introdução	6
1.1. Considerações iniciais.....	6
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo geral.....	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3. Método	7
1.4. Estrutura do trabalho.....	7
2. Estado da arte em sistemas de condicionamento de ar	8
2.1. Caracterização do objeto de estudo.....	8
2.2. Caracterização do mercado	10
2.2.1. Participação de sistemas de condicionamento de ar no consumo de energia total, no Brasil	10
2.2.2. Crescimento das vendas	13
2.2.3. Crescimento dos níveis de desempenho energético	14
2.2.4. Comparação dos índices mínimos de desempenho energético e diferenças nos procedimentos de testes de avaliação entre países	17
2.3. Índices mínimos de eficiência energética no Brasil.....	19
2.4. Possibilidades de melhorias na eficiência energética através de regulamentação mais restritiva.....	22
3. Conclusões	27
Referências	29



1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2011c), é necessário que a energia disponível seja utilizada de forma racional e sustentável. O desperdício de energia significa a degradação de recursos naturais e a inviabilização de outras possíveis atividades necessárias ao desenvolvimento do país. Devem colaborar com o uso racional da energia, tanto o Estado (por meio das ações induzidas) quanto o mercado (por meio das ações autônomas).

Estima-se que a demanda de energia elétrica no Brasil deverá crescer cerca de 55% até o ano de 2020 (BRASIL, 2011a). Os sistemas de condicionamento de ar utilizados no Brasil podem contribuir muito com a racionalização do consumo de energia, se forem devidamente fabricados e utilizados de forma eficiente. Estima-se que o Brasil poderia economizar até 18 TWh por ano, com a substituição de sistemas de condicionamento de ar (SHAN et al., 2013). Para Pereira et al. (2013), é necessário que o Brasil, como nono maior consumidor de energia elétrica no mundo e com demanda crescente por energia, determine níveis mínimos mais elevados de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é verificar o estado da arte em eficiência energética em sistemas de condicionamento de ar para uso em edificações.

1.2.2. Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Estimar qual é a quantidade de energia consumida no Brasil com sistemas de condicionamento de ar;
- Verificar quais são as possibilidades técnicas de melhoramento do desempenho energético de sistemas de condicionamento de ar;
- Estimar o potencial de economia de energia por meio da melhoria na eficiência energética destes equipamentos, utilizando como fontes os estudos publicados por órgãos de pesquisa e estatística, tal qual a Empresa de Pesquisa Energética e a parceria internacional CLASP (*Collaborative Labeling & Appliance Standards Program*);
- Elaborar recomendações para que o estoque de sistemas de condicionamento de ar em uso no Brasil tenha uma maior eficiência energética.



1.3. Método

Este trabalho se baseou na revisão bibliográfica de estudos publicados por entidades que visam racionalizar o uso de energia de sistemas de condicionamento de ar, dentre outros equipamentos consumidores de energia. Dentre estes projetos, se destacam a iniciativa SEAD (*Super-efficient Equipment and Appliance Deployment*), a parceria internacional CLASP (*Collaborative Labeling & Appliance Standards Program*). As possibilidades de melhoramento técnico e de mercado encontradas nestes trabalhos são comparadas às expectativas para o setor energético do Brasil, que são expostas nos planos elaborados pelo Ministério de Minas e Energia em conjunto com a Empresa de Pesquisa Energética: o Plano Nacional de Energia 2030 e o Plano Decenal de Expansão de Energia 2021. Comparam-se as metas do planejamento brasileiro para a melhoria da eficiência energética de sistemas de condicionamento de ar com as possibilidades apresentadas pelas entidades promotoras da eficiência energética.

1.4. Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em três capítulos. No capítulo 1 são apresentados a introdução, objetivos e método do trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a participação dos sistemas de condicionamento de ar no consumo de energia do Brasil, estimativas da quantidade de energia que poderia ser economizada e a legislação atual acerca da eficiência energética destes sistemas.

No capítulo 3 são feitas as conclusões quanto à legislação no Brasil que regulamenta a eficiência energética dos sistemas de condicionamento de ar.



2. Estado da arte em sistemas de condicionamento de ar

2.1. Caracterização do objeto de estudo

Sistemas de condicionamento de ar são equipamentos utilizados para manter um ambiente artificialmente adequado ao conforto humano. Isto inclui o controle da temperatura, umidade e qualidade do ar. Para isto, podem exercer as funções de aquecimento e/ou resfriamento, umidificação e desumidificação. Estes sistemas apresentam uma grande variedade de tipos, se diferenciando por diversos fatores. Podem ser diferenciados pelo modo como retiram o calor do meio interno e o modo como dissipam o calor para o meio externo. Em uma parte dos sistemas, tanto a captura de calor do ambiente interno quanto a dissipação para o ambiente externo são feitas diretamente pelo ar (*air-to-air air conditioner*). Na maior parte dos sistemas, o calor é retirado pelo ar, mas a dissipação é feita por um condensador por meio de evaporação (*water-to-air air conditioner* ou *evaporatively cooled air conditioner*). Em uma terceira parte, o calor é retirado do ambiente por um trocador de calor intermediário, à base de água, e dissipado através de um *chiller*, que pode ser resfriado por ar, água ou evaporação. Além disto, podem ser diferenciados entre os modelos com motores de velocidade fixa ou variável, se possuem função de aquecimento e resfriamento, ou apenas uma destas, por capacidade de refrigeração, por número de dutos, entre outros fatores (ARMINES et al., 2012).

Para o estudo da eficiência energética em sistemas de condicionamento de ar ao redor do mundo, cabe destacar o tipo mais comum em meio à grande variedade de produtos. Pesquisas indicam que a maioria absoluta dos sistemas de condicionamento de ar fabricados na China têm capacidade de refrigeração abaixo de 12 kW. Sistemas com capacidade maior que 12 kW são considerados de grande porte e predominantemente comerciais, enquanto abaixo disto podem ser considerados predominantemente residenciais. A média ponderada dos produtos chineses é de 4,3 kW, sendo que 89% tem capacidade inferior a 4,5 kW. O tipo mais comum de sistema de condicionamento de ar em todo o mundo, com larga vantagem, é o tipo *split* sem dutos, tanto em edificações residenciais quanto não residenciais. Estados Unidos e Canadá são exceções a esta regra, países em que predominam os sistemas de condicionamento de ar do tipo janela (ECONOLOER et al., 2011). Por isto, este modelo é utilizado em muitas das estimativas para a quantidade de energia que poderia ser conservada com medidas de eficiência energética.

Econoler et al. (2011) apresentam o crescimento de vendas de sistemas de condicionamento de ar nas principais economias do mundo, além de médias das eficiências energéticas que podem ser encontradas em diferentes economias. Também apresentam fórmulas de conversão que permitem comparar os níveis de eficiência mínimos exigidos nas economias estudadas e minimizar as diferenças dadas por procedimentos de medição da eficiência energética destes produtos em cada economia. Para este estudo são considerados apenas os sistemas de condicionamento de ar utilizados para refrigeração, ou apenas a função de refrigeração quando os sistemas têm ciclo reverso. O estudo se limita a sistemas com até 19 kW de capacidade de refrigeração e que funcionem através de vapor comprimido por eletricidade, excluindo as unidades de



absorção. Os modelos selecionados para estudos são subdivididos nas seguintes categorias:

(a) *split* sem dutos (de velocidade fixa ou variável); (b) *single split* sem dutos reversíveis; (c) *single split* com dutos; (d) *multi-split*; (e) *single-packaged*; (f) sistemas de condicionamento de ar portáteis (com um ou dois dutos); (g) sistemas centrais de condicionamento de ar (ECONOLER et al., p. 11, 2011, tradução nossa)

Shan et al. (2013) selecionaram para análise modelos semelhantes aos utilizados em Econoler et al. (2011). A eficiência energética destes modelos é estudada e várias propostas são feitas para o melhoramento de cada um. Os modelos utilizados por Shan et al. (2013) são:

Unidades *split* (nomeadas como *mini-split* ou *split* sem dutos nos EUA); *Multi Split*; *Single packaged* (conhecidos como tipo janela na Europa e como condicionadores de ar terminais nos EUA); Unidades de um duto; Unidades de dois dutos; Sistemas de condicionamento de ar centrais; *Chillers* residenciais (*mini chillers*) (SHAN et al., p. 15, 2013, tradução nossa).

Após a verificação das melhorias possíveis para a eficiência energética destes modelos, Shan et al. (2013) utilizaram um modelo de sistema de condicionamento de ar típico em todo o mundo para simular a conservação de energia após as melhorias sucessivas. O modelo de simulação é um *split* de velocidade fixa que foi desenvolvido para a elaboração dos requisitos de *Ecodesign* da Comunidade Europeia (SHAN et al., 2013; RIVIERE et al., 2007). A unidade de medição de eficiência energética utilizada para comparações e estimativas é o *European Seasonal Efficiency Ratio* (ESEER), que é obtido através da média ponderada das eficiências energéticas observadas em vários períodos do ano, com o equipamento operando nas respectivas capacidades parciais requeridas e incluindo o consumo energético em modo *standby* e desligado.

O trabalho de Shan et al. (2013) complementa o de Econoler et al. (2011) e ambos fazem parte da iniciativa internacional CLASP (*Collaborative Labeling & Appliance Standards Program*). Os trabalhos de Armines et al. (2012) e Riviere et al. (2007) têm objetivos similares aos de Shan et al. (2013) e de Econoloer et al. (2011), porém com análise limitada ao contexto europeu, servindo de subsídio técnico à elaboração das diretrizes de *Ecodesign* da União Europeia. Por este motivo, para a análise do contexto brasileiro neste trabalho, serão feitas mais relações e utilização de dados dos estudos de Shan et al. (2013) e Econoloer et al. (2011), já que estes incluem o Brasil em seu escopo e permitem a comparação com outras economias, como a União Europeia, China e Estados Unidos, também incluídas nas análises.



Em Armines et al. (2012) são feitas as recomendações para melhorias da eficiência energética de sistemas de condicionamento de ar de grande porte no contexto europeu, ou seja, com capacidade de refrigeração maior que 12 kW. Em Riviere et al. (2007) são feitas as recomendações para sistemas de pequeno porte, com capacidade de refrigeração menor que 12 kW. Estes dois últimos estudos fazem também a análise do impacto ambiental de líquidos refrigerantes dos sistemas de condicionamento de ar e propostas para sua regulamentação, iniciativas importantes para a redução das emissões de dióxido de carbono. Os modelos de sistemas de condicionadores de ar analisados por Riviere et al. (2007) são idênticos aos de Shan et al. (2013), pois houve colaboração entre as partes para o desenvolvimento desse segundo trabalho.

Segundo Armines et al. (2012), sistemas de aquecimento consomem, em geral, mais energia que sistemas de resfriamento. A maior parte do impacto ambiental destes produtos é causada pelo uso de energia para a operação durante a vida útil. A segunda maior parte é causada pela perda de fluidos refrigerantes, que causam emissões de gases do efeito estufa. Armines et al. (2012) concluem ainda que a maior parte da energia gasta em sistemas de condicionamento de ar é dada por motores compressores, mas a regulamentação da eficiência destes componentes no contexto europeu não causará grandes ganhos no consumo de energia. Os sistemas de condicionamento de ar europeus já são, em geral, equipados com compressores muito eficientes, e o maior ganho na eficiência pode ser obtido com outras medidas, como trocadores de calor maiores e o maior controle da carga parcial de refrigeração.

Segundo Riviere et al. (2007), os sistemas de condicionamento de ar com capacidade de refrigeração menor que 12 kW na Europa tem potencial de redução de 40% no consumo de energia. Estima-se que as medidas impostas pela regulamentação de *Ecodesign* contribua para a conservação, no ano de 2020, de 44 TWh de energia por ano em comparação ao cenário *business as usual*. Os procedimentos de instalação e manutenção são de fundamental importância para a eficiência dos sistemas. Já para sistemas de condicionamento de ar com capacidade maior que 12 kW, estima-se que em 2010 o consumo dos produtos foi de 97 TWh na Europa. O potencial de conservação de energia em 2025, se as propostas da *Ecodesign* forem implementadas, é de 4,3 TWh por ano para *chillers* condicionadores de ar e de 5,9 TWh por ano para condicionadores de ar *air-to-air* (ARMINES et al., 2012).

2.2. Caracterização do mercado

2.2.1. Participação de sistemas de condicionamento de ar no consumo de energia total, no Brasil

O setor de edificações é um expressivo consumidor de energia no Brasil. O consumo de energia elétrica no país foi de aproximadamente 516 TWh em 2013, dos quais os setores residencial, comercial e público respondem conjuntamente por 250,6 TWh (BRASIL, 2014). A Figura 1 expõe o consumo de energia elétrica de cada setor no Brasil, no ano de 2013.

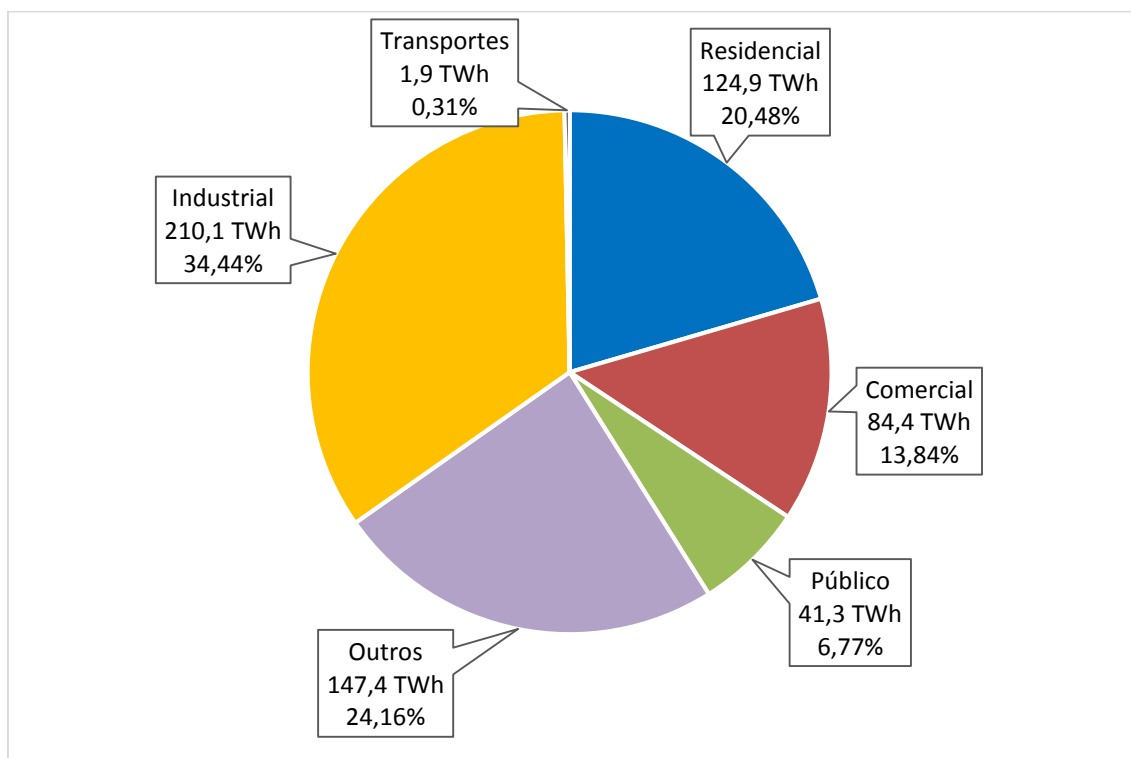


Figura 1: Consumo de eletricidade no Brasil em TWh e em percentagem, por setor, ano de 2013.

Fonte: Brasil (2014).

Os sistemas de condicionamento de ar exercem, por sua vez, um consumo energético expressivo nos setores residencial, comercial e público. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007), o consumo de energia com refrigeração corresponde a 33% do consumo total de energia do setor comercial, no Brasil. No setor público, a parcela do consumo de energia para refrigeração é de 18% e no setor residencial, 32%. No Plano Nacional de Energia 2030, o consumo de energia com refrigeração é representado não apenas por sistemas de condicionamento de ar, mas também freezers e geladeiras, dentre outros. Quando isolado o consumo de energia com condicionamento ambiental, ele respondeu por 3% do total de energia consumida pelo setor residencial em 2005 (BRASIL, 2007). Esta informação é conflitante com a apresentada pela Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso, como apresentado a seguir.

A Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso, realizada entre os anos de 2004 e 2006 pelo Procel (ELETROBRÁS, 2007), apresenta os dados mais recentes disponíveis atualmente sobre o uso final de energia nos setores comercial, residencial e público. Para o setor residencial, sistemas de condicionamento de ar representam cerca de 20% do consumo total de energia nos domicílios brasileiros. Este valor é maior em algumas regiões, a depender das características bioclimáticas. Nas regiões Norte, Sul e Nordeste, ele responde pelas maiores parcelas: 40%, 32% e 27%, respectivamente. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, ele responde pelas menores parcelas: 11% e 18%,

respectivamente. A Figura 2 mostra os usos finais de energia do setor residencial, no Brasil.

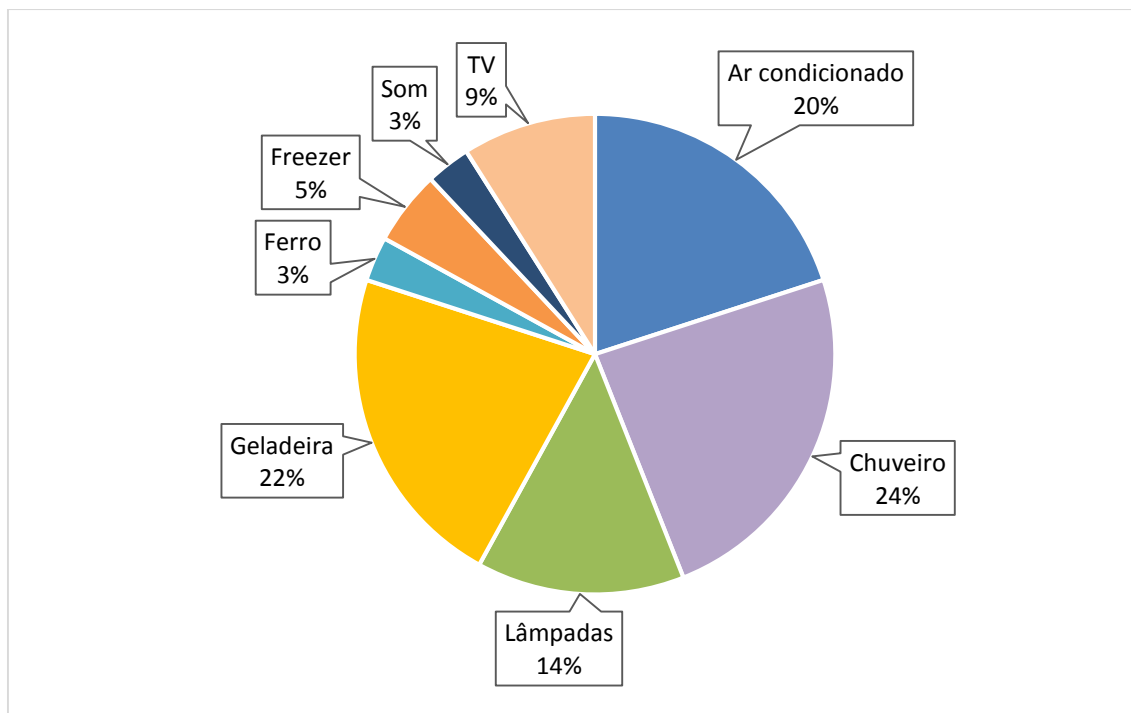


Figura 2. Uso final de energia no setor residencial brasileiro.

Fonte: Eletrobrás, 2007.

No setor comercial, segundo a Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso, os sistemas de condicionamento de ar respondem por 47% do consumo final de energia, seguido pelo gasto com iluminação, que representa 22%. Observa-se que 76% das instalações comerciais analisadas utilizam o modelo *Split*. Isto faz deste o modelo predominante no estoque, ou seja, o conjunto de todos os sistemas de condicionamento de ar em operação no país. Nos prédios públicos, o consumo de energia dos sistemas de condicionamento de ar representa 48% do total, seguido de iluminação, que representa 23%. O modelo predominante também é o *split*, com 82% de participação (ELETROBRÁS, 2007).

Multiplicando-se os percentuais apresentados pela Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (ELETROBRÁS, 2007) pelos respectivos consumos energéticos dos setores residencial, comercial e público em 2013 (BRASIL, 2014), pode-se estimar que 84,46 TWh foram consumidos no total por sistemas de condicionamento de ar no ano de 2013. Isto representa cerca de 16,2% do consumo total de energia elétrica naquele ano. No entanto, esta estimativa é imprecisa devido aos dados defasados da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (ELETROBRÁS, 2007) e considerando-se o

crescimento nas vendas dos últimos anos (SHAN et al., 2013). O consumo energético atual com sistemas de condicionamento de ar é provavelmente maior.

2.2.2. Crescimento das vendas

As vendas de sistemas de condicionamento de ar estão em crescimento na maior parte do mundo, incluindo o Brasil. Isto indica que a quantidade de energia consumida por estes produtos deve crescer nos próximos anos. A Figura 3 mostra o número de vendas atuais e projetadas para sistemas de condicionamento de ar em diversos países. Ela representa as vendas de sistemas de condicionamento para uso residencial. Os sistemas de condicionamento de ar para uso residencial são predominantemente do tipo *split*, os mais comuns em todo o mundo, exceto nos Estados Unidos e Canadá. Existe uma tendência de aumento de vendas para sistemas de condicionamento de ar do tipo *split*, em detrimento dos demais. Nos Estados Unidos e Canadá, as vendas são dominadas por sistemas de condicionamento de ar centrais, não incluídos nos dados da Figura 3 (SHAN et al., 2013).

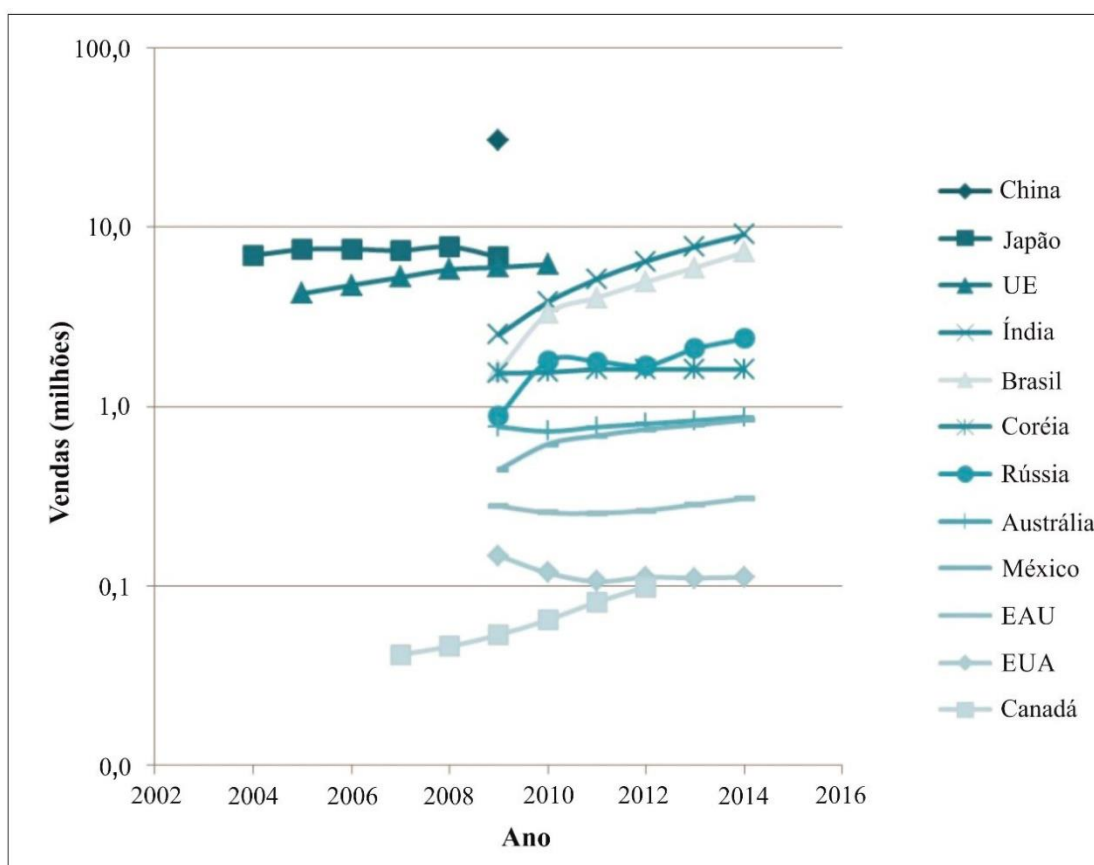


Figura 3. Vendas de sistemas de condicionamento de ar atuais e projetadas.

Fonte: Shan et al., 2013.



2.2.3. Crescimento dos níveis de desempenho energético

O desempenho energético dos sistemas de condicionamento de ar também cresce a cada ano, seguindo tendências globais. Segundo Shan et al. (2013), a eficiência média dos sistemas de condicionamento de ar disponíveis no mercado do Brasil é de 3,19 W/W e a maior eficiência encontrada é de 4,04 W/W. Porém, dados mais recentes do INMETRO indicam que a maior eficiência encontrada é de 4,79 W/W (INMETRO, 2014). Isto demonstra que os produtos disponíveis no mercado têm potencial para serem melhorados e se tornarem mais eficientes.

A Figura 4 apresenta o nível de eficiência dos sistemas de condicionamento de ar mais eficientes e menos eficientes encontrados em cada país, em W/W. A comparação dos índices de eficiência energética encontrados em um país com os índices encontrados em outro não é precisa, pois os valores apresentados não levam em consideração distorções causadas pelos procedimentos de teste e avaliação de cada país. Porém, comparações entre os índices encontrados em um mesmo país ao longo dos anos podem ser feitas. A melhora no desempenho energético ao longo dos últimos anos é diferente entre modelos de sistemas. Quando analisados os produtos mais eficientes disponíveis no mercado mundial, os sistemas de condicionamento de ar do tipo *split* apresentaram melhorias no desempenho energético na União Europeia, enquanto os sistemas de condicionamento de ar tipo janela sofreram redução de seu desempenho. Os sistemas de condicionamento de ar tipo janela mantiveram desempenhos praticamente constantes nos Estados Unidos. Observa-se que na União Europeia, o desempenho dos produtos menos eficientes em todas as categorias decaiu, enquanto na China houve um grande aumento e nos Estados Unidos, um aumento modesto (ECONOLER et al., 2011).

Na China, entre 2008 e 2010, houve um rápido crescimento do índice de eficiência energética dos aparelhos menos eficientes. Isto se deve a regulamentações mais restritivas impostas no país. Os sistemas de condicionamento de ar mais eficientes são encontrados no Japão. Neste país, o contexto é favorável a um melhor desempenho dos produtos, por ser um país importador de energia, o que a torna mais cara. Outros fatores determinantes que justificam os níveis de eficiência energética encontrados em cada país são o clima de cada local e as horas de uso durante o ano. Por isto, os mecanismos regulatórios devem se adequar ao contexto de cada país (ECONOLER et al., 2011).

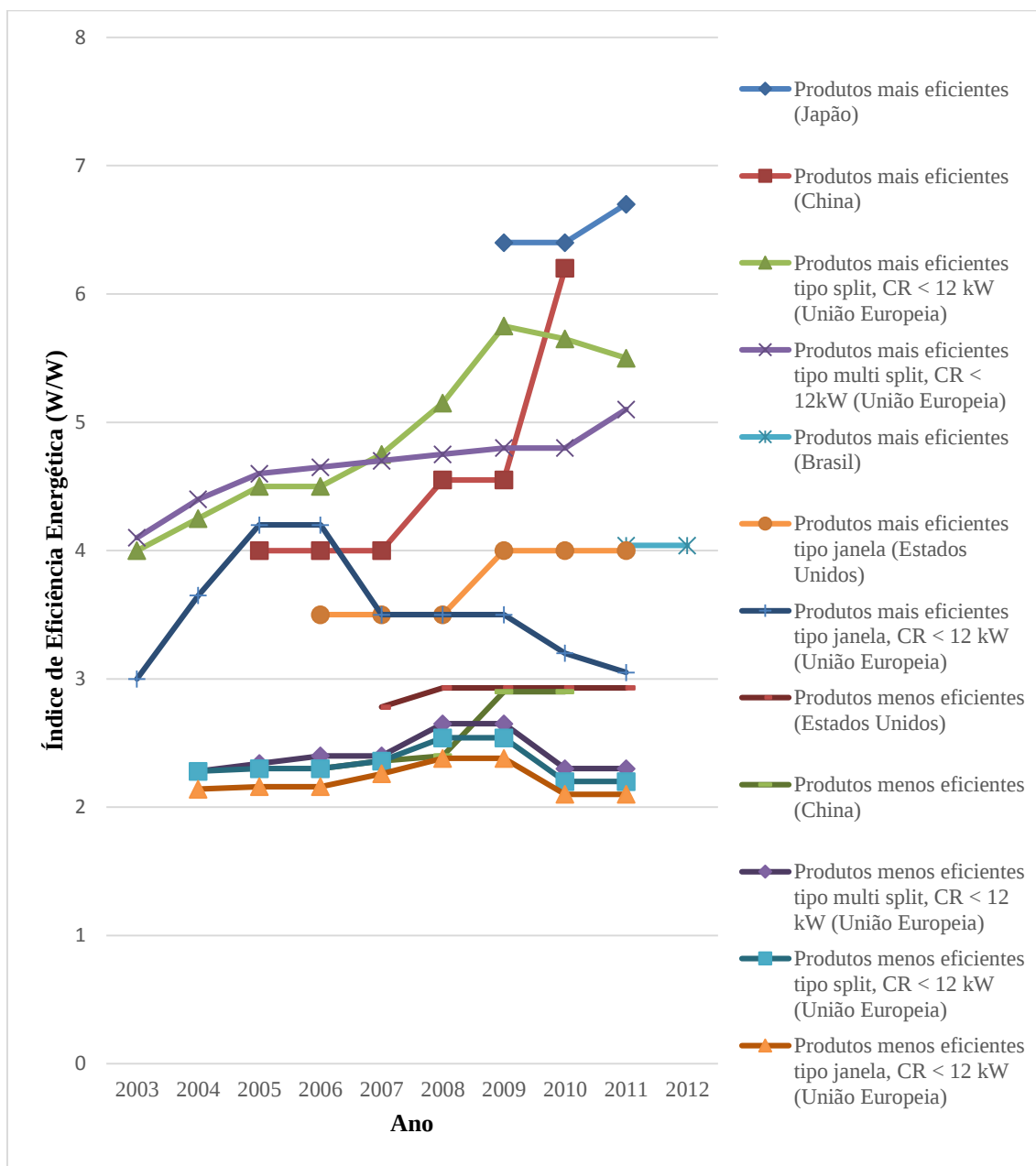


Figura 4. Eficiência energética dos sistemas de condicionamento de ar mais e menos eficientes encontrados no mercado, por país, em W/W.

Fonte: Econoler et al., 2011; Shan et al., 2013.

Os dados do Programa de Etiquetagem do PROCEL mostram mais detalhadamente a eficiência energética dos produtos comercializados no Brasil, de acordo com cada categoria. Estes produtos são inspecionados pelo INMETRO. Na Figura 5, observa-se que a grande maioria dos produtos apresenta eficiência energética menor que 3,2 W/W e que a maior eficiência encontrada por Shan et al. (2013), de 4,04 W/W, está muito distante

da média. A maior eficiência encontrada pelo INMETRO (2014), de 4,79, também é discrepante em relação à média.

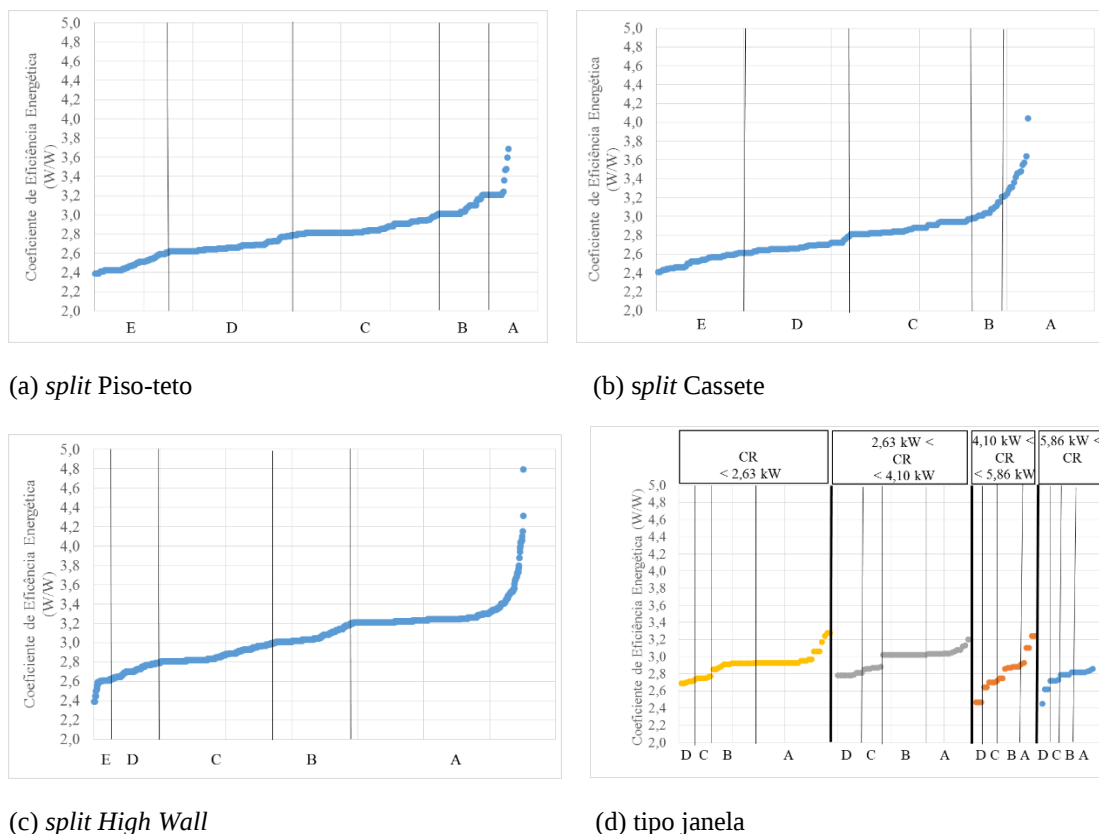


Figura 5. Coeficiente de eficiência energética dos sistemas de condicionamento de ar comercializados no Brasil.

Fonte: INMETRO, 2014

A Tabela 1 mostra o número de sistemas de condicionamento de ar inspecionados e etiquetados pelo INMETRO para cada categoria, a percentagem de produtos em cada faixa de classificação e a média de eficiência energética. Pode-se observar que a distribuição entre as faixas de classificação é muito diferente para cada categoria. Os sistemas de condicionamento de ar do tipo *split high wall*, que tem o maior número de produtos avaliados, têm eficiência média de 3,04 WW, a maior entre os outros tipos. Ainda assim, a eficiência média de todos os tipos é de 2,86 W/W, menor que a eficiência média encontrada por Shan et al. (2013) de 3,19 W/W. Quando analisadas todas as categorias, 53,7% dos produtos estão nas faixas C, D ou E, o que significa que têm baixos índices de eficiência. Nas categorias *split* piso teto e *split* cassete, os produtos nas faixas C, D e E somadas correspondem à grande maioria, com 82,8% e 86,3%, respectivamente. Os sistemas de condicionamento de ar do tipo janela têm as melhores eficiências, com



grande parte dos produtos classificados nas faixas A e B, porém estes modelos têm volume de vendas bem menores do que os do tipo *split*. O modelo *split high wall*, também apresenta uma boa percentagem de produtos nas faixas A e B somadas, de 57,5%.

Tabela 1. Distribuição dos sistemas de condicionamento de ar avaliados pelo INMETRO nas respectivas faixas de eficiência energética.

Categoria	Número de produtos avaliados	E	D	C	B	A	Média (W/W)
<i>split</i> piso teto	420	17,1%	33,6%	32,1%	10,7%	6,4%	2,81
<i>split</i> cassette	212	21,7%	30,2%	34,4%	6,1%	7,5%	2,78
<i>split high wall</i>	1302	1,9%	13,7%	26,7%	18,0%	39,5%	3,04
Janela CR < 2,63 kW	57	-	17,5%	3,5%	28,0%	50,9%	2,91
Janela 2,63 kW < CR < 4,10 kW	50	-	20,0%	12,0%	36,0%	32,0%	2,96
Janela 4,10 kW < CR < 5,86 kW	23	-	13,0%	21,7%	26,1%	39,1%	2,81
Janela 5,86 kW < CR	20	-	5,0%	10,0%	40,0%	45,0%	2,75
Todas as categorias	2084	6,9%	19,5%	27,4%	16,4%	29,8%	2,86

Fonte: INMETRO, 2014.

2.2.4. Comparação dos índices mínimos de desempenho energético e diferenças nos procedimentos de testes de avaliação entre países

A unidade de medida comumente utilizada para medir o desempenho energético de sistemas de condicionamento de ar é o *energy efficiency ratio* (EER), que mede a eficiência do sistema operando com capacidade máxima. Segundo o *Collaborative Labeling and Appliance Standards Program* (CLASP), esta relação não representa bem a realidade, pois os sistemas operam normalmente com capacidade parcial. Os fabricantes priorizam a eficiência energética do produto operando com capacidade total, em detrimento da eficiência com capacidade parcial. Por isso foi desenvolvido o *seasonal*



energy efficiency ratio (SEER), que mede o desempenho dos produtos a partir das médias das capacidades parciais de operação durante o ano e representa melhor a realidade. O SEER é feito a partir da medição da eficiência energética com capacidade parcial várias vezes durante o ano e é sensível ao clima local, tipologia de edificação e comportamento do usuário. O crescente uso do SEER é uma tendência global. Nos Estados Unidos, Coreia, China e Japão, já existem testes normatizados para medição do SEER (ECONOLER et al., 2011).

Apesar de o EER ser a unidade de medida mais utilizada em muitos países, as diferenças nos procedimentos de testes de medição impossibilitam a comparação de eficiências energéticas entre produtos de diferentes países. Verifica-se que normalmente os procedimentos adotados nos testes para medição dos desempenhos energéticos de sistemas de condicionamento de ar são baseados em normas internacionais, a ISO 5151 e a ISO 13253. Estes procedimentos têm variações entre diferentes países, o que torna a comparação difícil. Os testes mais utilizados para a medição do EER são o de entalpia do ar interno do ambiente e o de calorímetro. Recomenda-se que seja dada preferência ao segundo teste, devido a sua maior precisão. O INMETRO já faz uso do procedimento de teste do calorímetro atualmente (BRASIL, 2011d). A desvantagem do teste através do calorímetro é o maior custo e a necessidade de mais tempo para ser realizado, porém a margem de erro é de 5% para este teste, enquanto que para o de entalpia do ar interno é de 10% (ECONOLER et al., 2011).

Econoler et al. (2011) desenvolveram fórmulas matemáticas para que o SEER aproximado possa ser obtido a partir do EER e também para que diferenças nos procedimentos de teste de cada país possam ter seus efeitos minimizados. A Figura 6 apresenta a comparação dos índices mínimos de eficiência energética exigidos em alguns países para sistemas de condicionamento de ar do tipo *split* de velocidade fixa e sem dutos. Diferentemente da Figura 4, é possível fazer comparações entre países diferentes, na Figura 6. Cada ponto representa o valor do índice mínimo de eficiência energética exigida para um determinado produto, se ele fosse testado segundo a norma de ~~um~~ outro país e convertido para o SEER. Esta comparação confirma que a norma japonesa é a mais restritiva quando comparada com os outros países, mesmo quando os índices mínimos são convertidos para SEER. O Japão informa aos consumidores tanto o *Cooling Seasonal Performance Factor* (CSPF), que é o SEER para a parte do ano em que se usa a refrigeração, quanto *Heating Seasonal Performance Factor*, que é o SEER para a parte do ano em que se usa aquecimento. No Japão também se informa o *Annual Performance Factor* (APF) que é a média ponderada dos dois anteriores. Na União Europeia os sistemas de condicionamento possuem um critério de classificação adicional chamado GWP (*global warming potential*), que se refere ao potencial para colaborar com o aquecimento global.

O Brasil não foi incluído na comparação de Econoler et al. (2011). Para que fosse possível comparar os índices de eficiência energética dos produtos brasileiros com os do exterior, um fator de conversão deveria ser desenvolvido para minimizar os efeitos causados por diferenças nos procedimentos de medição de cada país.

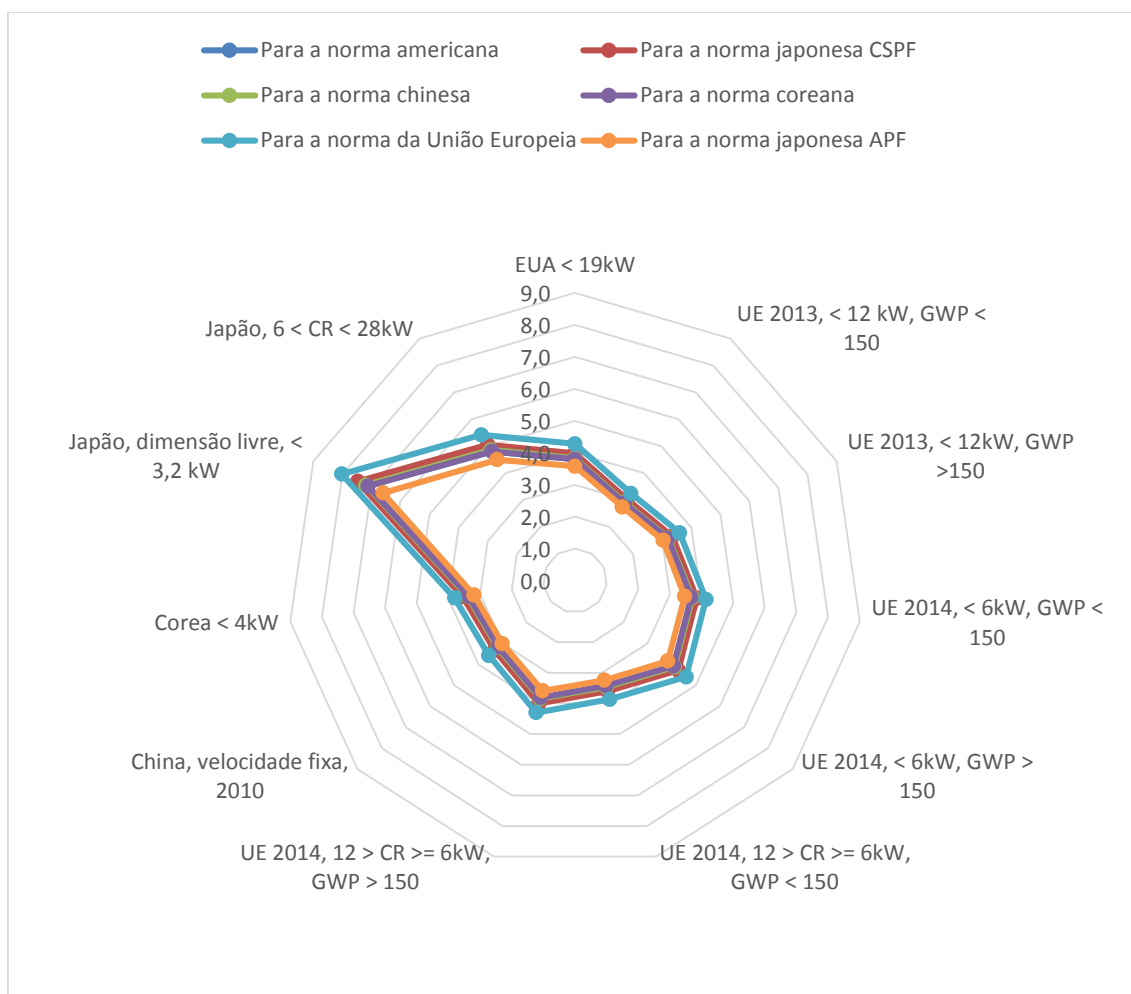


Figura 6. Comparação entre índices mínimos de eficiência energética de cada país, em W/W, quando convertidos para o SEER (*seasonal energy efficiency rating*), para sistemas de condicionamento de ar do tipo *split* de velocidade fixa e sem dutos.

Fonte: Econoler et al., 2011.

2.3. Índices mínimos de eficiência energética no Brasil

Um programa de regulamentação de eficiência energética pode se utilizar de diversos instrumentos, como, por exemplo, a regulamentação de índices mínimos de eficiência energética, a certificação comparativa e a certificação de conformidade. O sucesso de um programa em reduzir de fato o consumo energético dos produtos no mercado depende do contexto de cada país e das características dos instrumentos acima citados. Entre outros fatores, estão: a maturidade do programa, a existência de metas progressivamente mais restritivas, os valores exigidos como mínimos índices de eficiência energética, a obrigatoriedade ou não da certificação, etc. Existe consenso entre especialistas de que a



forte regulamentação de índices mínimos para sistemas de condicionamento de ar é o instrumento mais importante de um programa de eficiência energética para estes produtos. A certificação, por sua vez, cumpre um papel secundário, pois em geral estes equipamentos são escolhidos por construtoras e não pelos usuários, que serão afetados pelas contas de energia (ECONOLER et al., 2011).

No Brasil, os sistemas de condicionamento de ar são sujeitos a índices mínimos de eficiência energética, bem como a etiquetagem com classificação de A a E. Estas são medidas adotadas pelo governo para reduzir o desperdício de energia. A Portaria Interministerial nº 323 (BRASIL, 2011b) estabelece níveis mínimos de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar do tipo janela, como exposto na Tabela 2. Para sistemas de condicionamento de ar tipo *split*, a mesma portaria define um único nível mínimo do coeficiente de eficiência energética, de 2,60 W/W, que será exigido para comercialização a partir de 31 de dezembro de 2014. Ressalta-se que este é o modelo de equipamento predominante no estoque brasileiro, bem como em outros países (ELETROBRÁS, 2007; SHAN et al., 2013). Esta regulamentação também exige que os produtos tenham suas eficiências energéticas expostas em etiquetas, obtidas através de método de avaliação definido pelo INMETRO. Observa-se que o produto mais eficiente encontrado no mercado tem eficiência energética de 4,04 W/W, segundo Shan et al. (2013), valor bem maior que o mínimo estabelecido pela regulamentação específica.

Tabela 2. Níveis mínimos do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo janela.

Capacidade de Refrigeração - CR				
Categorias	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
kJ/h	CR≤9495	9496≤CR≤14769	14770≤CR≤21099	CR≥21100
BTU/h	CR≤9000	9001≤CR≤13999	14000≤CR≤19999	CR≥20000
W/W	≥2,68	≥2,78	≥2,45	≥2,30

Fonte: Brasil, 2011b.

Segundo a Portaria Interministerial nº 323 (BRASIL, 2011b), os produtos do tipo janela com eficiências menores que as indicadas na Tabela 2 já não podem mais ser comercializados desde 31 de dezembro de 2013. No entanto, os produtos do tipo *split*, que representam a maior parte do estoque, poderão ser comercializados com eficiências menores que 2,6 W/W até 31 de dezembro de 2014.

Além dos níveis mínimos de eficiência exigidos pela Portaria Interministerial nº 323, o INMETRO (BRASIL, 2013) estabelece classes de etiquetagem de eficiência energética e metas para que o programa se torne mais restritivo ao longo do tempo. As Tabelas 3 e 4 indicam as classes de A a E que são conferidas aos produtos atualmente pela etiqueta do INMETRO. No entanto, a partir de 16 de agosto de 2014 o programa se torna mais restritivo, pois fabricantes e importadores deverão etiquetar os produtos conforme exposto nas Tabelas 5 e 6, que estabelecem classes de qualidade de A a D e retiram a classe E. A partir de 16 de fevereiro de 2015, apenas os produtos em conformidade com as Tabelas 5 e 6 poderão ser comercializados por fabricantes e importadores. A próxima



revisão dos índices mínimos está prevista para janeiro de 2016 e a partir disto, a cada quatro anos.

Tabela 3. Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo janela, válidos a partir de 16 de agosto de 2013.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)			
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
	Capacidade de Refrigeração ≤ 9.000 BTU/h Potência ≤ 2.637 W	Capacidade de Refrigeração 9.001 a 13.999 BTU/h Potência 2.637 W a 4.102 W	Capacidade de Refrigeração 14000 a 19.999 BTU/h Potência 4.102 W a 5860 W	Capacidade de Refrigeração ≥ 20.000 BTU/h Potência ≥ 5.860 W
A	$\geq 2,91$	$\geq 3,02$	$\geq 2,87$	$\geq 2,82$
B	$\geq 2,68$	$\geq 2,78$	$\geq 2,70$	$\geq 2,62$
C	$\geq 2,47$	$\geq 2,56$	$\geq 2,54$	$\geq 2,44$
D	$\geq 2,27$	$\geq 2,35$	$\geq 2,39$	$\geq 2,27$
E	$\geq 2,08$	$\geq 2,16$	$\geq 2,24$	$\geq 2,11$

Fonte: Brasil, 2013.

Tabela 4. Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo *split*, válidos a partir de 16 de agosto de 2013.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)
A	$3,20 < CEE$
B	$3,00 < CEE \leq 3,20$
C	$2,80 < CEE \leq 3,00$
D	$2,60 < CEE \leq 2,80$
E	$2,39 \leq CEE \leq 2,60$

Fonte: Brasil, 2013.

A tendência global para os requisitos mínimos de desempenho para sistemas de condicionamento de ar é se tornarem mais exigentes ao longo do tempo. Os desempenhos mínimos para sistemas de condicionamento de ar do tipo *split* se tornaram progressivamente mais restritivos em diversos países. Na China, o mínimo desempenho exigido em 2004 era de 2,6 W/W para sistemas de condicionamento de ar com até 1,7 kW de capacidade de refrigeração. Em 2010 o valor mínimo foi alterado para 3,2 W/W. Na Austrália, o desempenho mínimo exigido, para sistemas de condicionamento de ar com capacidade de refrigeração de até 4 kW, foi alterado de 3,0 W/W para 3,3 W/W, em 2010. Nos Estados Unidos, o desempenho mínimo de 3,8 W/W é exigido desde 2006. O desempenho mínimo exigido na Índia para produtos tipo *split* é de 2,7 W/W, a partir de 2014 (ECONOLER et al., 2011). Seria necessário que o Brasil apresentasse um plano de metas mais restritivo para os índices mínimos de eficiência energética.



Tabela 5. Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo janela, válidos a partir de 16 de agosto de 2014.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)			
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
	Capacidade de Refrigeração ≤ 9.000 BTU/h Potência ≤ 2.637 W	Capacidade de Refrigeração 9.001 a 13.999 BTU/h Potência 2.637 W a 4.102 W	Capacidade de Refrigeração 14000 a 19.999 BTU/h Potência 4.102 W a 5860 W	Capacidade de Refrigeração ≥ 20.000 BTU/h Potência ≥ 5.860 W
A	$\geq 2,93$	$\geq 3,03$	$\geq 2,88$	$\geq 2,82$
B	$\geq 2,84$	$\geq 2,94$	$\geq 2,71$	$\geq 2,65$
C	$\geq 2,76$	$\geq 2,86$	$\geq 2,59$	$\geq 2,48$
D	$\geq 2,68$	$\geq 2,78$	$\geq 2,45$	$\geq 2,30$

Fonte: Brasil, 2013.

Tabela 6. Classes para etiquetagem do coeficiente de eficiência energética (W/W) para sistemas de condicionamento de ar tipo *split*, válidos a partir de 16 de agosto de 2014.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)
A	$3,23 \leq CEE$
B	$3,02 < CEE \leq 3,23$
C	$2,81 \leq CEE \leq 3,02$
D	$2,60 \leq CEE \leq 2,81$

Fonte: Brasil, 2013.

O desempenho mínimo exigido no Brasil será de 2,6 W/W para o modelo *split*, mas produtos com coeficientes abaixo deste valor ainda poderão ser comercializados no varejo no Brasil até 31 de dezembro de 2014 (BRASIL, 2011b). Para Pereira et al. (2013), é possível e necessário que o Brasil aumente os níveis mínimos de desempenho energético exigidos para sistemas de condicionamento de ar tipo *split* para estimular a circulação de produtos eficientes no mercado. No país já se verifica que níveis bem mais elevados podem ser alcançados.

2.4. Possibilidades de melhorias na eficiência energética através de regulamentação mais restritiva

O Balanço Energético Nacional 2014 conclui que o rendimento do consumo de energia aumenta principalmente devido ao melhoramento da eficiência na tecnologia, e em menor escala por mudanças nos hábitos dos consumidores. O aumento do rendimento devido ao “efeito tecnológico”, no período de 1994 a 2004, foi de 3,2%, enquanto o aumento devido ao “efeito sociedade”, que inclui mudanças no hábito de consumo da população, foi de 0,6%. Este dado é referente ao consumo global de energia, incluindo todos os setores e fontes de energia (BRASIL, 2014). O Plano Nacional de Energia 2030 aponta que, no setor residencial, o gasto médio com energia representa uma pequena parte dos gastos dos



domicílios, principalmente das classes sociais mais altas, em que o consumo de energia é maior. Isto desestimula mudança de hábitos que venham a poupar energia. Desta forma, espera-se que maiores ganhos em eficiência energética poderão ser alcançados por melhoramentos tecnológicos, e não por mudanças nos hábitos de consumo da população (BRASIL, 2007).

Existem diferentes estimativas para o potencial de conservação de energia para sistemas de condicionamento de ar. Neste estudo serão abordadas algumas destas estimativas. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007), os potenciais de conservação de energia são: o potencial técnico, o potencial econômico e o potencial de mercado. O potencial técnico abrange a maior quantidade de medidas para melhoria da eficiência energética. Este potencial se refere a todas as medidas para conservação de energia possíveis de se obter com a implementação de tecnologias existentes ou substituição por tecnologias mais eficientes. No entanto, as medidas inclusas no potencial técnico podem não ser viáveis economicamente, pois em alguns casos o custo de implementação é superior ao retorno financeiro dado pela energia que seria conservada.

Já o potencial econômico considera apenas as medidas de eficiência energética que tenham viabilidade econômica. A viabilidade econômica de uma medida varia de acordo com a perspectiva adotada. O Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007) considera como potencial econômico as medidas de eficiência energética que tenham uma relação entre custo e benefício melhor do que a da expansão do sistema de geração de energia. Isto significa que para a concessionária ou para o governo o investimento seria econômico, pois a expansão do sistema elétrico para suprir a demanda teria um custo maior. Para esta análise é necessária a comparação do custo das medidas de eficiência energética com as taxas de juros praticadas e com o custo marginal de expansão do sistema de geração de energia. As medidas de potencial econômico, no entanto, podem não ser vantajosas para o consumidor final de energia.

As medidas que trarão benefícios ao consumidor final de energia são inclusas no potencial de mercado. Estas medidas trarão benefícios financeiros, a longo prazo, ao consumidor final obtidos pela redução do consumo de energia. Para este cálculo, é necessária a comparação com as tarifas sobre a energia pagas pelo consumidor final e com as taxas de juros praticadas no local (BRASIL, 2007). Assim, todas as medidas do potencial de mercado estão inseridas no conjunto do potencial econômico, que por sua vez estão inseridas no potencial técnico.

Um estudo elaborado pelo CLASP (*Collaborative Labeling & Appliance Standards Program*) (SHAN et al., 2013) estima que os sistemas de condicionamento de ar disponíveis atualmente no mercado apresentam um potencial de mercado de redução de seu consumo energético da ordem de 20% a 30%, se melhoramentos na tecnologia forem realizados. Estes melhoramentos não apresentam, em geral, dificuldades para serem implementados e são provenientes de processos já conhecidos pela indústria.

Shan et al. (2013) estimam que poderiam ser poupados 18 TWh de energia por ano, considerando a substituição de 100% dos sistemas de condicionamento de ar existentes no estoque, ou seja, um cenário em que todos os proprietários de sistemas de condicionamento de ar substituam os sistemas de condicionamento de ar ineficientes. A importância deste cenário, apesar de não ser imediatamente possível, é estabelecer um



horizonte máximo da quantidade de energia que se poderia conservar apenas com o aumento da eficiência que tenha potencial de mercado. A partir disto, as ações do mercado e do estado com vista a facilitar a substituição e aquisição de produtos mais eficientes vão influenciar nos ganhos reais de conservação de energia, e poderão ser traçados cenários mais otimistas ou mais pessimistas.

A Tabela 7 demonstra melhoramentos possíveis para a fabricação de sistemas de condicionamento de ar e suas respectivas economias de energia, em percentagem. O modelo de sistema de condicionamento de ar usado para a análise comparativa é chamado *mini-split*, que é o modelo predominante em edificações residenciais de diversos países, incluindo o Brasil (SHAN et al., 2013). O percentual de economia de energia depende das características bioclimáticas de cada local em cada país. Na prática, a implementação cumulativa de todos os melhoramentos gera uma economia de energia diferente da soma de todos os percentuais. Isto se deve ao fato de que, após uma determinada melhoria, o consumo de energia será menor e o percentual de redução de consumo da segunda melhoria será calculado sobre o novo valor, e assim sucessivamente. Os melhoramentos mais adequados para os sistemas de condicionamento de ar variam de acordo com o clima do local, sendo que os sistemas mais eficientes são aqueles projetados especificamente para determinado local e não produtos genéricos que tentem se adaptar a qualquer local (SHAN et al., 2013).

Estes melhoramentos na fabricação têm um custo, que deve ser comparado ao custo da energia conservada para que se possa analisar a viabilidade econômica. Shan et al. (2012) estimam que no Brasil os sistemas de condicionamento de ar poderiam ter eficiência energética de até 5,67 W/W, mantendo uma relação de custo e benefício favorável sob a perspectiva do consumidor final. Esta relação depende da tarifa cobrada pela energia elétrica, do custo do capital (taxas de juros) em cada país e da média de horas de uso dos sistemas de condicionamento de ar durante o ano. O Brasil poderia economizar 18 TWh por ano, se todos os sistemas de condicionamento de ar do estoque fossem substituídos, no período entre os anos de 2012 e 2020, por sistemas com eficiência energética de, no mínimo, 5,67 W/W. Ressalta-se que, como o preço da energia elétrica é geralmente mantido artificialmente abaixo do seu valor de custo por subsídios do governo, do ponto de vista do fornecedor de energia, outras variáveis devem ser consideradas, o que resulta em benefícios ainda mais vantajosos.

A relação custo/benefício se mostra ainda maior se analisados outros aspectos, como explica Shan et al. (2013):

Se as despesas com potência de pico, geração de reservas de energia e interrupções no fornecimento forem incluídas na análise de custo benefício, [...] os ganhos são ainda maiores. (SHAN et al., p. 11, 2013, tradução nossa).



Tabela 7. Melhoramentos possíveis para sistemas de condicionamento de ar e suas respectivas reduções no consumo de energia.

Opção	Descrição	% de redução do consumo energético correspondente	
		Mínimo	Máximo
Trocador de calor eficiente	Trocadores de calor mais eficientes, trocadores de calor maiores.	9,1%	28,6%
Compressores eficientes	Compressores rotatórios de duas fases, compressores rolantes eficientes com motores DC	6,5%	18,7%
Inversor/Velocidade variável	Compressores comandados por inversores AC, AC/DC ou DC.	20,0%	24,8%
Válvula de expansão	Válvulas de expansão termostáticas e eletrônicas	5,0%	8,8%
Aquecimento do <i>crankcase</i> ¹	Redução da potência de aquecimento do <i>crankcase</i>	9,8%	10,7%
Carregamento em <i>standby</i>	Reduzir o carregamento no modo <i>standby</i>	2,2%	2,2%
Total/ Cumulativo		60,0%	72,0%
Soma de todos os percentuais (não corresponde à redução real)		52,6%	93,8%

Fonte: Shan et al., 2013.

Em contrapartida a estas estimativas, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 (BRASIL, 2012) não faz estimativas específicas para a conservação de energia possível para sistemas de condicionamento de ar isoladamente. Estima que, em todo o setor residencial brasileiro, 17,5 TWh de energia elétrica possam ser poupados no ano de 2021, considerando-se apenas o aumento da eficiência energética de equipamentos do estoque. Esta redução no consumo é, em sua maior parte, devido à substituição de lâmpadas incandescentes e pouco influenciada pelo melhoramento do consumo em sistemas de condicionamento de ar. Para esta estimativa, considerou-se o crescimento populacional, o consumo médio por residência e a substituição e expansão gradual do estoque com sistemas de condicionamento de ar mais eficientes, entre outros fatores. O aumento na eficiência energética de todo o estoque de sistemas de condicionamento de ar usado para este estudo foi de 0,5% ao ano, enquanto o aumento proporcionado pela substituição de

¹ Nota: O *crankcase* é um dispositivo que regula a temperatura do líquido refrigerante dos sistemas de condicionamento de ar, evitando sua condensação. Ele geralmente se mantém ligado, mesmo quando o sistema de condicionamento de ar está desligado.



incandescentes é de 8% ao ano. Para todo o setor comercial a redução do consumo estimada é de 5,8 TWh, mas não é especificada a participação dos sistemas de condicionamento de ar (BRASIL, 2012).

O Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007) estima que a substituição de sistemas de condicionamento de ar por modelos mais eficientes, no setor residencial, apresenta potenciais de conservação de energia técnico, econômico e de mercado, de 40%, 30% e 15%, respectivamente. Porém, devido à dificuldade de penetração de aparelhos mais eficientes no mercado, a energia conservada seria igual a 0,2% do total de energia consumida pelo setor residencial. Ao se considerar o total de energia consumida pelo setor residencial, de 124 TWh no ano de 2013, segundo o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2014), a energia conservada seria, portanto, de 0,25 TWh. Isto representa uma estimativa pequena de redução do consumo, pois o estudo considerou que os sistemas de condicionamento de ar são responsáveis por apenas 3% da energia consumida no setor residencial. Como exposto acima, este dado é conflitante com o apresentado pela Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (ELETROBRÁS, 2007).

Para os setores comercial e público, o condicionamento ambiental não é discriminado na análise, mas participa do item refrigeração geral, que inclui geladeiras e refrigeradores. O potencial de mercado de conservação de energia para refrigeração é subdividido em “equipamentos mais eficientes” e “controles e sistemas mais eficientes”, com valores estimados em 10% e 20%, respectivamente. Isto possibilitaria uma redução de 3,3% no consumo energético dos setores comercial e público conjuntamente (BRASIL, 2007).

Os motivos pelos quais o Plano Nacional de Energia 2030 apresenta expectativas menores que as possibilidades apresentadas por Shan et al. (2013) são bem conhecidos e estudados:

[...] falta de informação, barreiras financeiras (falta de capital, custo de capital), decisão de compra pelo custo inicial, percepção diversa dos agentes (caso das construções, onde o construtor visa apenas o custo mínimo da obra), acesso à tecnologia eficiente, tarifas subsidiadas, incerteza quanto à evolução das tarifas, incerteza quanto aos resultados (BRASIL, p.116, 2007).

Devido à dificuldade de penetração imposta por esses motivos, se fazem necessários justamente os programas de incentivo à eficiência energética que resultarão no progresso induzido. Porém, durante a elaboração do Plano Nacional de Energia 2030, mecanismos como os índices mínimos de eficiência energética e certificação para sistemas de condicionamento de ar não foram estabelecidos e nem considerados nas projeções, o que também explica a menor expectativa de conservação de energia.

Comparando-se as diferentes estimativas para o potencial de conservação de energia para sistemas de condicionamento de ar no Brasil, verifica-se que as perspectivas do Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 (BRASIL, 2012) e Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007) são bastante modestas em relação às possibilidades apresentadas por Shan et al. (2013). Shan et al. (2013) estimam que no Brasil, sistemas de



condicionamento de ar poderiam ter eficiência energética de até 5,67 W/W considerando-se uma relação entre custo e benefício favorável sob a perspectiva do consumidor final. No Brasil, isto viabilizaria a conservação de 18 TWh por ano, considerando que todos os sistemas de condicionamento de ar do estoque fossem substituídos por produtos mais eficientes entre 2012 e 2020. Esta conservação é expressiva, tendo em vista que o consumo final de energia elétrica em todo o país em 2013 foi de 516 TWh (BRASIL, 2014).

No entanto, a eficiência mínima exigida para sistemas de condicionamento de ar do tipo *split* no Brasil é de apenas 2,6 W/W (BRASIL, 2011b). O Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 (BRASIL, 2012) estima que a eficiência de novos sistemas de condicionamento de ar aumentará 0,5% ao ano até 2021, ao passo que Shan et al. (2013) estimam que até 30% de redução no consumo energético destes produtos poderia ser alcançado dentro do potencial de mercado. Por sua vez, o Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007) apresenta uma pequena expectativa de potencial de energia conservada para o uso final de refrigeração no setor residencial, de 3 TWh por ano. Esta estimativa, no entanto, inclui tanto sistemas de condicionamento de ar quanto freezers e refrigeradores, e considera que sistemas de condicionamento de ar respondem por apenas 3% do uso energético final do setor. Portanto, pode-se afirmar que as expectativas do planejamento energético brasileiro para a penetração de sistemas de condicionamento de ar mais eficientes estão bem abaixo do potencial de mercado apresentado por Shan et al. (2013).

3. Conclusões

Observa-se que o Brasil se beneficiaria do estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética mais restritivos para sistemas de condicionamento do ar. O consumo de energia dado por estes produtos no Brasil é expressivo, cerca de 84 TWh, ou 12,6% do total de energia elétrica consumida no país em 2013 (ELETROBRÁS, 2007; BRASIL, 2014). As vendas de sistemas de condicionamento de ar devem crescer no Brasil e em outros países emergentes nos próximos anos, aumentando o consumo energético dado pelo uso destes produtos. Existem possibilidades tecnológicas já conhecidas pela indústria e com potencial de mercado para que os produtos fabricados no Brasil atendam a requisitos mais altos de desempenho energético (SHAN et al., 2013).

A penetração de sistemas de condicionamento de ar mais eficientes no mercado dependerá dos esforços que forem feitos no país, tanto por parte do Estado quanto do mercado para eliminar barreiras, possibilitando a fabricação, importação, comercialização e aquisição de produtos mais eficientes. Estudos indicam que o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética é o melhor instrumento para a redução do consumo energético de sistemas de condicionamento de ar. O efeito deste instrumento na média de eficiência energética dos produtos comercializados pode ser observado na China, onde índices mais restritivos foram aprovados recentemente. Neste país, entre os anos de 2008 e 2010, o índice de eficiência dos produtos menos eficientes passou de 2,3 W/W para 2,9 W/W e os mais eficientes passaram de 4,5 W/W para 6,2 W/W (ECONOLER et al., 2011).



O modelo *split* é o modelo de sistema de condicionamento de ar predominante no estoque brasileiro (ELETROBRÁS, 2007; SHAN et al., 2013). A legislação atual estabelece que o índice mínimo de eficiência energética para este modelo é de 2,6 W/W. Este índice começou a ser exigido para comercialização apenas a partir de 31 de dezembro de 2014 (BRASIL, 2011b). Apesar da existência de um plano de metas para que o índice mínimo de eficiência energética seja progressivamente maior (BRASIL, 2013), pode-se afirmar que o programa é pouco restritivo. A média do índice de eficiência energética dos sistemas de condicionamento de ar comercializados no Brasil é de 3,19 W/W segundo Shan et al. (2013) e de 2,86 W/W para os produtos avaliados pelo INMETRO (2014). Estima-se que a eficiência energética destes produtos no Brasil poderia ser de até 5,67 W/W sem que houvesse prejuízos financeiros ao consumidor final. Isto possibilitaria a conservação de aproximadamente 18 TWh de energia, caso todos os sistemas em uso no país fossem substituídos.

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 (BRASIL, 2012) prevê que a eficiência do estoque de sistemas de condicionamento de ar em uso no Brasil deverá aumentar cerca de 0,5% ao ano, mas Shan et al. (2013) estimam que 30% de redução no consumo energético de novos sistemas poderia ser obtido dentro do potencial de mercado. Verifica-se que desempenhos energéticos melhores não dependem da superação de barreiras tecnológicas, mas sim de barreiras de mercado que tornam os produtos mais eficientes pouco competitivos desde a fabricação até a compra pelo consumidor final.

Por fim, recomenda-se a normatização das unidades de medida e dos procedimentos de medição em nível global. A unidade de medida de eficiência energética utilizada no Brasil e na maior parte do mundo atualmente é o *energy efficiency ratio* (EER), que mede a eficiência do sistema operando com sua capacidade total (ECONOLOER et al., 2011). O *seasonal energy efficiency ratio* (SEER) é uma forma de medição que representa melhor a realidade, pois os sistemas de condicionamento de ar operam com capacidade parcial durante o ano. Em alguns países como Estados Unidos, Japão e China, já foram desenvolvidas normas para estes procedimentos de medição e recomenda-se que o mesmo seja feito em todo o mundo. Verifica-se que normalmente os procedimentos adotados nos testes para medição dos desempenhos energéticos de sistemas de condicionamento de ar são baseados em normas internacionais, a ISO 5151 e a ISO 13253. Estes procedimentos têm variações entre diferentes países, o que torna a comparação difícil. Os testes mais utilizados para a medição do EER são o de entalpia do ar interno do ambiente e o de calorímetro. Recomenda-se que seja dada preferência ao segundo teste, devido a sua maior precisão (ECONOLER et al., 2011). O INMETRO utiliza atualmente o teste do calorímetro (BRASIL, 2011d).



REFERÊNCIAS

- ARMINES; VAN HOLSTEIJN AND KEMNA; BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Lot 6: Air-conditioning and ventilation systems. Air conditioning systems. Final report of Task 7.** França, 2012. Disponível em: <<http://www.ecohvac.eu/downloads/Task%207%20Lot%206%20Air%20Conditioning%20Final%20report%20July%202012.pdf>>. Acesso em 5 set. 2013.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030. Eficiência Energética.** 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/pne_2030/11_EficienciaEnergetica.pdf>. Acesso em 21 ago. 2013.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2011-2020).** Série Estudos de energia. Nota técnica DEA 03/11. Rio de Janeiro, 2011a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série%20Estudos%20de%20Energia/20110222_1.pdf>. Acesso em 12 ago. 2013.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 323**, de 26 de maio de 2011. Aprova programa de metas para Condicionadores de Ar. Estabelece os níveis mínimos de eficiência energética para Condicionadores de Ar, caracterizados nos termos dos arts. 1º e 2º do Anexo I à Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC nº 364, de 24 de dezembro de 2007. Brasil, 2011b. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139097/Portaria_Interministerial_nx_323_2011.pdf/8ea50087-5fd0-4f65-ab23-c95dda53907a>. Acesso em 08 ago. 2013.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética.** Brasília, 2011c. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>>. Acesso em 13 ago. 2013.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria n.º 007, de 04 de janeiro de 2011.** Aprova a revisão dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar. Brasil, 2011d. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001655.pdf>> Acesso em 24 fev. 2015.
- BRASIL. Ministério de minas e energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2021.** 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/20130326_1.pdf>. Acesso em 19 ago. 2013.



BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro. **Portaria n.º 410, de 16 de agosto de 2013.** Aprova revisão das classes de eficiência energética e o formato da etiquetas de conservação energética ENCE para condicionadores de ar. 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002015.pdf>> Acesso em 03 fev.2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2014.** Empresa de Pesquisa Energética. 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em 29 jul. 2014.

ECONOLER; NAVIGANT; CEIS; ACEE. Cooling Benchmarking Study. Estudo feito em colaboração com o *Collaborative Labeling and Appliance Standards Program* (CLASP). 2011. Disponível em: http://clasponline.org/Resources/Resources/StandardsLabelingResourceLibrary/2012/~/_media/Files/SLDocuments/2012/CoolingBenchmarkingStudy/RAC%20benchmarking%20-%20Report.pdf. Acesso em 16 ago. 2014.

ELETROBRÁS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso. Ano Base 2005. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil.** Julho, 2007.

INMETRO. Programa de Etiquetagem PROCEL. Coeficiente de eficiência energética para produtos de condicionamento de ar comercializados no Brasil e etiquetados pelo PROCEL. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em 12 dez. 2014.

PEREIRA, C.; LAMBERTS, R.; GHISI, E. **Nota técnica referente aos níveis mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar no Brasil.** Centro brasileiro de eficiência energética em edificações. Florianópolis, 2013.

RIVIERE, P.; MARCHIO, D.; GRIGNON-MASSE, L.; ADNOT, J.; ANDRE, P.; LEBRUN, J.; SA, E.; ALEXANDRE, J.; BOGNER, T.; BENKE, G.; THORPE, W.; POUT, C.; HITCHIN, R.; CONROY, A.; KARATASOU, S. **Introduction to Lot 10 study – products and scope definition.** União Europeia, 2007. Disponível em: <http://www.eceee.org/ecodesign/products/airco_ventilation>. Acesso em 07 nov. 2014.

SHAH, N.; PHADKE, A.; WAIDE, P. **Cooling the planet: Opportunities for Deployment of Super-efficient Room Air Conditioners.** Super-efficient Equipment and Appliance Deployment. Environmental Energy Technologies Division. International Energy Studies Group, Lawrence Berkeley National Laboratory. 2013. Disponível em: <http://www.clasponline.org/Resources/Resources/StandardsLabelingResourceLibrary/2013/~/_media/Files/SLDocuments/2013/SEAD-Room-AC-Report/2013Apr_SEAD%20Room%20AC%20Report%20Executive%20Summary.pdf> . Acesso em 08 out. 2014.